

**HIRNGEWICHT BEI KINDERN UND JUGENDLICHEN
BIS ZUM ALTER VON 19 JAHREN**

ROLF ALLMENDINGER-HAGENMEIER

1985

*Diss
München*

Aus dem Institut für Rechtsmedizin
der Universität München
Direktor: Prof. Dr. W. Spann

HIRNGEWICHT BEI KINDERN UND JUGENDLICHEN
BIS ZUM ALTER VON 19 JAHREN

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung der Doktorwürde in der Zahnheilkunde
an der Ludwig-Maximilians-Universität zu München

vorgelegt von:

Rolf Allmendinger-Hagenmaier

aus

München

Jahr

1985

Mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät
der Universität München

Berichterstatter: Priv.Doiz.Dr.rer.nat.Dr.med.habil G. Beier

Mitberichterstatter: Prof. Dr. W. Spann

Dekan: Prof. Dr. W. Spann

Tag d. mündlichen Prüfung: 25.Juli 1985

I N H A L T S V E R Z E I C H N I S

	Seite
1. Einleitung	1
1.1 Allgemeines	1
1.2 Allometrische Gleichung	3
1.3 Hirngewicht und Alter	6
1.4 Hirngewicht und Geschlecht	6
1.5 Weitere Einflüsse auf das Hirngewicht	6
1.6 Ziel vorliegender Arbeit	7
2. Material und Methode	9
2.1 Herkunft des Materials	9
2.2 Präparation der Gehirne	10
2.3 Altersverteilung der Stichprobe	10
2.4 Verteilung der Stichprobe auf Jahrgänge	16
2.5 Längen-Alters- und Gewichts-Alterskorrelation in den Stichproben	21
2.6 Längen-Gewichts-Korrelation in der Stichprobe	21
3. Ergebnisse	25
3.1 Mittlere Hirngewichte in den einzelnen Alters- klassen	25
3.2 Zusammenhang zwischen Hirngewicht und Körper- länge	34
3.3 Zusammenhang zwischen Hirngewicht und Körper- gewicht	42
3.4 Zusammenhang zwischen Hirngewicht und Lebens- alter	47

4.	Diskussion	55
4.1	Einflußfaktoren auf die Ergebnisse	55
4.1.1	Herkunft des Materials	55
4.1.2	Präparation der Gehirne	55
4.1.3	Selektion der Daten	56
4.2	Mittlere Hirngewichte	58
4.3	Zusammenhang zwischen Hirngewicht und Körperlänge	61
4.7	Zusammenhang zwischen Hirngewicht und Körpergewicht	63
4.5	Zusammenhang zwischen Hirngewicht und Lebensalter	69
5.	Zusammenfassung	73
	Literaturverzeichnis	75

1. Einleitung

1.1. Allgemeines zum Hirngewicht

Im 6. Jahrhundert nach Christus wurde erstmals die Seele des Menschen im Gehirn lokalisiert, und zwar im vierten Ventrikel (10). Obwohl nun im Laufe der Zeit immer größere Klarheit über die Funktionen des Gehirns und deren Lokalisation geschaffen wurde - z.B. durch den großen antiken Arzt Galen - so herrschten dennoch bis etwa Ende des 18. Jahrhunderts mystische, teils sehr merkwürdige Vorstellungen vom menschlichen Gehirn. Beispiele seien hier der Philosoph Descartes (1) und der deutsche Anatom Soemmering (50). Anatomisch richtige Abbildungen des Gehirnes datieren von 1522 an, Berengario da Carpi (3) zeigte damals als erster Hirnhäute, Hirnwindungen und das Ventrikelsystem. Einen gewaltigen Aufschwung nahmen die "Wissenschaften" Kranioskopie und Phrenologie am Ende des 18. Jahrhunderts. Der Anatom Franz Gall [dessen Gehirn übrigens gering wog (60)] und sein Schüler J. C. Spurzheim (7) waren Begründer der kortikalen Lokalisationstheorie. Seit dieser Zeit beschäftigten sich Forscher auch mit dem Hirngewicht. Statistische Arbeiten über Maß und Gewichtsverhältnisse erschienen 1835 gleichzeitig in Deutschland, England und Frankreich (19).

Gegenstand der Untersuchung in diesen und folgenden Arbeiten waren vor allem die Gehirne Erwachsener in Bezug auf Geschlechts-, Größen- und Rassenunterschiede. Eine besondere Rolle spielte die Rassenmedizin des dritten Reiches (21), und selbst in jüngster Zeit sind Arbeiten verschiedener Autoren veröffentlicht worden, die Rassenunterschiede zwischen Schwarzen und Weißen im Hirngewicht postulierten (22, 29). Heute nun soll Anatomen, Pathologen, Rechtsmedizinern, Anthropologen und Biologen mit dem Hirngewicht - frei jeder Ideologie - ein Parameter für die Einordnung

eines Befundes und für vergleichende Forschungen in die Hand gegeben werden.

Dabei sind geeignete Standards nötig, damit der Rechtsmediziner einen subjektiven Eindruck objektivieren kann (6, 57), für den Pathologen sind sie wichtig zur Beurteilung von Entwicklungsverzögerungen, Abnormitäten und Krankheiten, während Anthropologen Referenzdaten für vergangene und zukünftige Entwicklungen brauchen. Von großer Bedeutung auf diesem Gebiet wäre in etwa die Frage, ob das Hirngewicht im Zuge der Evolution, der Anpassung des Menschen an seine Umwelt, gestiegen ist, und ob es heute, da der Mensch mehr und mehr seine Umwelt an sich adaptiert, im Begriff ist, zu fallen (60).

Selbst für Maße wie das Hirngewicht existieren jedoch nur recht oberflächliche Standards (23). Dies ist um so mehr verwunderlich, als dem Zentralen Nervensystem mit immer feineren Techniken "zu Leibe gerückt" wird, mit Elektronenmikroskop, Mikrospektrophotometrie, Ultraviolettabsorption, Histochemie, Zellkultur, Kybernetischen Modellen und vielen anderen Methoden mehr. Somit wird dem Forscher die Tatsache, daß die Spannweite des Hirngewichtes beim Menschen nur noch von der Spannweite des Körpergewichtes übertroffen wird, daß die mikroskopische oder zelluläre Ursache dafür, daß die schwersten Hirne immerhin etwa das dreifache der leichtesten wiegen, unbekannt ist, zur wissenschaftlichen Herausforderung (11, 13). Der Schluß, die jeweilig gemessenen Hirngewichte auf Körperlänge (9, 24, 55, 56, 59), Körpergewicht (36, 37) oder Lebensalter (19, 25, 41, 42, 44, 55, 56) zu beziehen, liegt bei dieser Variationsbreite nahe. Während sich für Erwachsene geeignete Studien finden, so sind diese Verhältnisse bei Kindern selten untersucht (12, 43, 44, 49, 53).

1.2. Allometrische Gleichungen

Während der Evolution des Menschen ist es zu einem signifikanten Größenzuwachs gekommen, mit dem ein Wachstum vieler in allometrischem Verhältnis zur Größe stehenden Organsysteme korrespondiert (35). Die Ermittlung derartiger mathematischer Beziehungen zwischen Hirngewicht und Körpermaßen beruht auf der Anwendung von sogenannten Allometriegleichungen. Dabei handelt es sich um empirische Gleichungen, die nicht rationalisiert werden können (20, 33).

Eine Theorie phylogenetischer quantitativer Enzephalisation wurde von Jerison (34) nach Überlegungen von Snell, Dubois und Lashley entwickelt (18, 34, 54). Von der Annahme ausgehend, daß durch die besondere Aggregation der Neuronen und der Gliazellen in verschiedenen Schichten und Regionen im Gehirn viele dieser Hirnareale als funktionelle Felder der Projektion von Sinnesorganen und Sinneszellen der Körperoberfläche anzusehen sind, läßt sich vereinfachend die Hirngröße als Funktionseinheit darstellen, die aus der Summe der verschiedenen Projektionsfelder gebildet wird. Es geht nun darum, für diese Felder ein einfach zu bestimmendes, äquivalentes Maß zu finden. Dieses bekommt man durch die Körpergröße, in der Annahme, daß diese in direktem Informationsaustausch mit dem Gehirn steht und daher die Größe eines Individuums letztlich in dessen Gehirn repräsentiert wird. Der intraspeziefische Größenzuwachs des Hirns ist nur in Grenzen möglich, da die Zahl der Neurone innerhalb einer Art in gewissen Bereichen konstant ist (18, 20). Die Unterschiede zwischen den Arten bestehen hauptsächlich in der Zahl der "excess neurones" (33, 34); dieses sind Neurone, die nicht Projektionsfeldern zugeordnet werden. In der empirischen Gleichung von Jerison (34)

$$HGew = K \cdot KGr^a + A$$

steht HGew für das Hirngewicht, KGr für die Körpergröße, der Exponent a mit dem Wert $2/3$ ist eine Säugetierkonstante. Der Ausdruck A steht für "added tissue", K ergäbe in der logarithmierten Form parallele Geradenbündel bei der Betrachtung unterschiedlicher Arten.

Eine Änderung der Körpergröße ist also phylogenetisch mit Hirngrößenänderung verbunden, das heißt, es besteht eine körpergrößenabhängige Beziehung zwischen zu innervierender Körpermasse und dem Hirngewicht.

Interessant nun sind hier Proportionsänderungen während des individuellen Wachstums oder bei wachsenden Individuen, die mit derselben Gleichung genähert werden können. So erhält man ein Beispiel einer ontogenetischen Allometrie (20).

Auf die logarithmierte Form dieser Gleichung ist Huxley (30) gekommen. Die Wachstumsrate eines Organs ist groß, wenn es zu wachsen beginnt. Nach dem Erreichen des Maximums nimmt die Rate wieder ab. Für Hirngewicht und Körpergewicht gelten, daß die Wachstumsraten des Gehirns ($d\text{HGew}/dt$) und des Körpergewichts ($d\text{KGew}/dt$) durch spezifische Konstanten und durch die eigene Größe bestimmt werden. Es gilt

$$\frac{d \text{HGew}}{dt} = C_1 \cdot \text{HGew} \quad \text{und} \quad \frac{d \text{KGew}}{dt} = C_2 \cdot \text{KGew},$$

$$\text{somit } \frac{d\text{HGew}}{\text{HGew}} = \frac{C_1}{C_2} \quad \frac{d\text{KGew}}{\text{KGew}}$$

für das relative Wachstum. Die Lösung dieser Differentialgleichung lautet (mit $\frac{C_1}{C_2}$ gleich a und $\log k$ als Integrationskonstante):

$$\text{H Gew} = k \cdot \text{KGew}^a$$

Formal ist Huxleys Gleichung also mit Jerisons Gleichung identisch.

Der Unterschied zu Jerisons Gleichung liegt darin, daß Jerison das Hirngewicht von der Körpergröße, Huxley von der Körpermasse abhängig macht. Jedoch lassen sich auch hier Verbindungen ziehen. Wird das Körpergewicht über die spezifische Dichte in Volumen umgerechnet, so ist das Hirngewicht bei einem a von $2/3$ proportional dem Volumen $2/3$. In der Geometrie erscheint der Exponent $2/3$ bei der Errechnung der Oberfläche einer Kugel aus dem Volumen. Somit ist eine enge Verbindung hergestellt zwischen Hirngewicht und Körperoberfläche, was wiederum an die Repräsentation der Körperoberfläche im Gehirn in Jerisons Projektionsfeldern erinnert.

Jordaan und Dunn (37) fanden eine Beziehung zwischen Hirn- und Körpergewicht mit einer anderen allometrischen Gleichung beim menschlichen Feten:

$$\text{HGew} = K - a \cdot b^x$$

Dabei führten sie eine Klassenzuordnung ein, daß $x = 0$ ist für 750 g Körpergewicht, $x = 1$ für 1250 g usw. a , b und K sind Konstanten. Für den Kliniker besonders praktikabel ist wohl eine Form der Allometrie, die u.a. Lemons, Schreiner und Gresham (40) für menschliche Feten und Säuglinge gefunden haben. Sie veröffentlichten eine einfache lineare Beziehung zwischen Hirngewicht und Kopfumfang. Da der Kopfumfang schon intrauterin mit Hilfe der multiaxialen Radiographie und der Sonographie beurteilt werden kann, ist es möglich, Entwicklungs- und Gedeihstörungen bereits im Mutterleib mit gewisser Wahrscheinlichkeit vorherzusagen und vielleicht zu behandeln. Die entsprechende Regressionsgleichung lautet:

$$\text{HGew [g]} = 28,42 \cdot x \text{ Schädelumfang [cm]} - 593$$

1.3. Hirngewicht und Alter

Bei Erwachsenen zeigt sich, daß das Hirngewicht im Alter von 19 - 55 Jahren kaum merkbar, dann aber bis zum Lebensende deutlich abnimmt (2, 15, 25, 45, 47, 48, 51, 55, 56, 58, 60).. Für Individuen, die noch voll im Wachstum stehen und deren Gehirngewicht noch in hohem Maße zunimmt, gibt es nur wenige empirische Untersuchungen (15, 17). Debakan (15) fand eine empirische Beziehung zwischen Hirngewicht und Lebensalter in Form zweier einfacher linearer Regressionen, die eine steilere Gerade für ein Alter von 6 Monaten bis zu drei Jahren, die flachverlaufende Gerade für ein Alter von 4 bis 21 Jahren. Auch Debakan rechnete mit einer Klasseneinteilung, wobei allerdings die Klassenbreite keineswegs einheitlich war (s. Kap. 4.4, Tab. 8).

1.4 Hirngewicht und Geschlecht

Das Geschlecht scheint ebenso eine Rolle zu spielen. Verschiedene Autoren (9, 24, 41, 55, 56) zeigten, daß Männer ein höheres durchschnittliches Hirngewicht haben. Allerdings wurde nicht berücksichtigt, daß sich das Hirngewicht sowohl mit dem Alter, als auch mit der Körperlänge verändert. Am Institut für Rechtsmedizin der LMU München konnte Nirschel (45) diese Einflüsse durch Einführung des reduzierten Hirngewichtes eliminieren, aber auch er kam nach Berücksichtigung dieser Faktoren zum selben Ergebnis.

1.5 Weitere Einflüsse auf das Hirngewicht

Schließlich soll auf das postmortal festgestellte Gewicht des Gehirns auch die Todesursache einen Einfluß haben: Bei plötzlichem, gewaltsamen Eintritt des Todes - z.B. beim

Schock, aber auch bei Erhängen und Vergiftungen - soll es höher liegen (2, 44, 47, 55), bei Tod infolge einer Allgemeinerkrankung wie Krebs oder Arteriosklerose bzw. infolge von Gehirnerkrankungen, Kopfverletzungen, protrahiertem Verbluten, Erstickten oder Elektrounfall soll das Hirngewicht erniedrigt sein (2, 19, 24, 31, 41, 45).

Somit kann also auch die Herkunft der Stichprobe von Bedeutung für das Hirngewicht sein: Insassen von Krankenhäusern oder psychiatrischen Anstalten stellen keinen guten Bevölkerungsquerschnitt dar. Eine ideale Bedingung für die Selektion der Präparate wäre ja ein plötzlicher Tod ohne vorherige chronische oder konsumierende Erkrankungen. Dies ist am ehesten der Fall bei Sterbefällen, die in gerichtsmedizinischen Instituten zur Sektion kommen (60).

Außer Körpergröße, Gewicht, Alter und Geschlecht beeinflussen also noch Todesursache bzw. Ursprung der Präparate das Hirngewicht. Tobias (60) kommt für erwachsene Gehirne bei der Würdigung dieser Tatsachen und, daß möglicherweise auch noch Umweltbedingungen und unterschiedliche Präparation eine Rolle spielen, auf eine Abweichung von ca. 10 % des Hirngewichtes, wenn sich die Stichproben in einer oder zwei dieser Variablen unterscheiden. Da aber eine Summation möglich ist, liegt der Schluß nahe, daß das "wahre Hirngewicht" eines gesunden Menschen - gleich welchen Alters und welchen Geschlechts - letztlich noch nicht bekannt ist.

1.6. Ziel vorliegender Arbeit

In der vorliegenden Arbeit wird anhand eines größeren Zahlenmaterials versucht, einen Normbereich für das Hirngewicht des Menschen von Geburt bis zum vollendeten 19. Lebensjahr

aufzustellen und Beziehungen zu jedem der drei Parameter
-Lebensalter, Körperlänge, Körpergewicht - herzustellen.

2. Material und Methode

2.1. Herkunft des Materials

Die Stichprobe bezieht sich auf die im Institut für Rechtsmedizin der Universität München in den Jahren 1952 - 1983 durchgeführten Sektionen. Sämtliche Protokolle von Sterbefällen, deren Lebensalter kleiner oder gleich 19 Jahre waren, wurden der Erhebung zugrunde gelegt. Ausgeschlossen wurden die Sterbefälle, die bei der Sektion Fäulniserscheinungen, offene Schädelverletzungen mit Hirnverlust, oder dem bloßen Auge auffallende Veränderungen des Gehirns, wie etwa Hydrozephalus oder Hirnödem, zeigten.

Ferner wurden Frühgeburten, soweit erkennbar, ausgegrenzt. Nach Durchsicht der Protokolle lagen für jeden Fall folgende Daten vor:

- Geschlecht
- Geburtsdatum
- Sterbetag
- Hirngewicht in g
- Körpergewicht in kg
- Körperlänge in cm
- Sektionsnummer
- besondere Bemerkungen und Todesart

Die Auswertung erfolgte mit der EDV-Anlage des Instituts für Rechtsmedizin der Universität München. Nach einem ersten Durchlauf konnten die Sterbefälle ausgesondert werden, deren Daten Auffälligkeiten hinsichtlich der Korrelationen von Körperlänge bzw. Körpergewicht und Lebensalter aufwiesen. Grundlage der Beurteilung waren die in der Literatur angegebenen Percentilenstandards (52, 61). Zusätzlich wurden noch "Ausreißer" in der Körperlängen-Körpergewichtsbeziehung eliminiert. Nähere Ausführungen dazu befinden sich in den

Kapiteln 2.5 und 2.6. Die Stichprobe umfaßte schließlich 1.936 Gehirne. Hiervon stammten 1.219 von männlichen, 697 von weiblichen Sterbefällen.

2.2. Präparation der Gehirne

Die Entnahme und Wägung der Gehirne erfolgt am Institut für Rechtsmedizin der Universität München immer auf die gleiche Art: Nach Abziehen der Kopfschwarte wird das knöcherne Schädeldach in typischer Weise stets an gleicher Stelle mit einer Säge horizontal durchtrennt. Es wird darauf geachtet, daß die harte Hirnhaut möglichst unverletzt bleibt. Der Längsblutleiter wird eröffnet, die Dura mater in der Sägeschnittebene mit der Schere durchgeschnitten und nach Einschneiden der Hirnsichel entfernt. Dann werden die Hirnnerven und Gefäße durchtrennt, das Gehirn herausgestülpt und das Tentorium mit der Schere eröffnet. Die Medulla oblongata wird auf Höhe des unteren Randes der Pyramidenbahnkreuzung unter Kontrolle des Auges durchgeschnitten, das Gehirn dem Schädel entnommen. Die Wägung erfolgt sofort mit einer Genauigkeit von einem Gramm. Dabei sind Hypophyse und weiche Hirnhäute am Hirn belassen, die Ventrikel gefüllt.

2.3. Altersverteilung der Stichprobe

Tabelle 1 und 2 geben einen Überblick über die ausgewerteten Sterbefälle in den einzelnen Altersklassen, getrennt nach Geschlecht.

Für männliche Sterbefälle ist graphisch in den Abbildungen 1 und 2, für weibliche in den Abbildungen 3 und 4 eine Häufigkeitsverteilung dargestellt. Die Abbildungen 1 und 3 zeigen eine deutlich linksgipflige bzw. rechtsschiefe Verteilung der Sterbefälle, die Abbildungen 2 und 4 eine U-förmige, symmetrische Verteilung.

Bei der Interpretation der Tabelle 1 und 2 und der Abbildungen 1 bis 4 ist zu berücksichtigen, daß das Obduktionsgut aus einem gerichtsmedizinischen Institut auch einige Besonderheiten aufweist. Zur Sektion kommen Tote, deren Identität unbekannt ist, deren Todesursache ungeklärt oder nicht natürlich ist, und Todesfälle, bei denen der Verdacht einer strafbaren Handlung besteht.

Weitere rechtliche Möglichkeiten zur Vornahme von Obduktionen gibt es, sie sind aber selten. Unter diesen Voraussetzungen sind also die Häufigkeitsverteilungen zu betrachten.

Tabelle 1: Altersverteilung der Stichprobe:
Sterbefälle 0 - 1 Jahr

Altersklasse (Monate)	Anzahl männlich	Anzahl weiblich
0,0 - 0,5	32	31
0,5 - 1,0	15	12
1,0 - 1,5	30	15
1,5 - 2,0	20	20
2,0 - 2,5	41	24
2,5 - 3,0	38	36
3,0 - 3,5	28	22
3,5 - 4,0	39	12
4,0 - 4,5	25	8
4,5 - 5,0	25	11
5,0 - 5,5	16	9
5,5 - 6,0	18	12
6,0 - 6,5	14	16
6,5 - 7,0	13	7
7,0 - 7,5	13	13
7,5 - 8,0	13	7
8,0 - 8,5	22	9
8,5 - 9,0	10	7
9,0 - 9,5	11	4
9,5 - 10,0	11	6
10,0 - 10,5	4	8
10,5 - 11,0	4	4
11,0 - 11,5	7	4
11,5 - 12,0	3	4

Tabelle 2: Altersverteilung der Stichprobe:
Sterbefälle 1 Jahr - 19 Jahre

Altersklasse (Jahre)	Anzahl männlich	Anzahl weiblich
0 - 1	452	301
1 - 2	74	62
2 - 3	44	31
3 - 4	40	26
4 - 5	28	15
5 - 6	22	16
6 - 7	22	10
7 - 8	25	17
8 - 9	12	9
9 - 10	26	16
10 - 11	21	9
11 - 12	12	10
12 - 13	22	7
13 - 14	24	14
14 - 15	55	25
15 - 16	42	25
16 - 17	42	25
16 - 17	102	37
17 - 18	116	51
18 - 19	80	36

Abbildung 1: Altersverteilung der Stichproben
männliche Sterbefälle 0-12 Monate

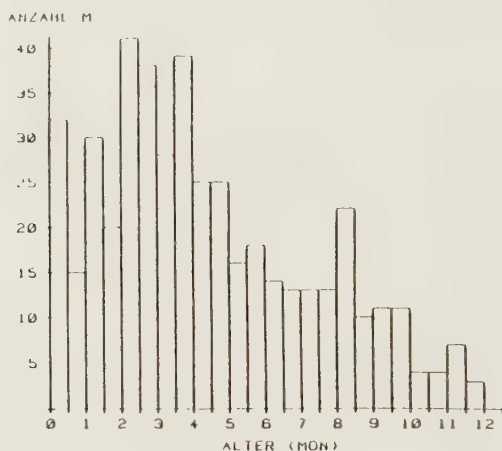


Abbildung 2: Altersverteilung der Stichproben
männliche Sterbefälle 1-19 Jahre

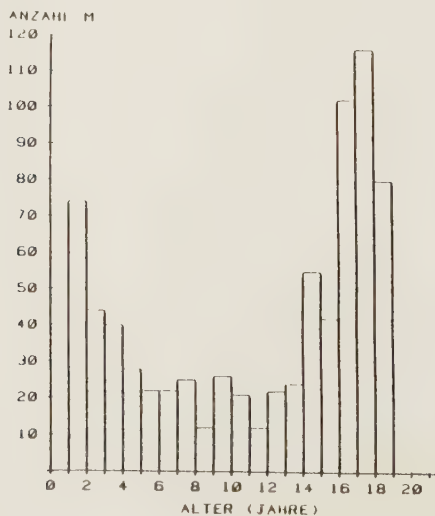


Abbildung 3: Altersverteilung der Stichproben
weibliche Sterbefälle 0-12 Monate

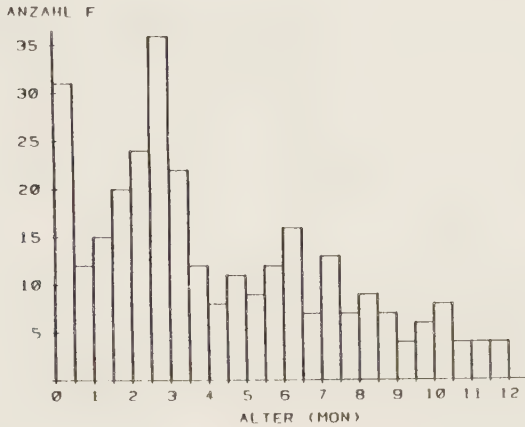
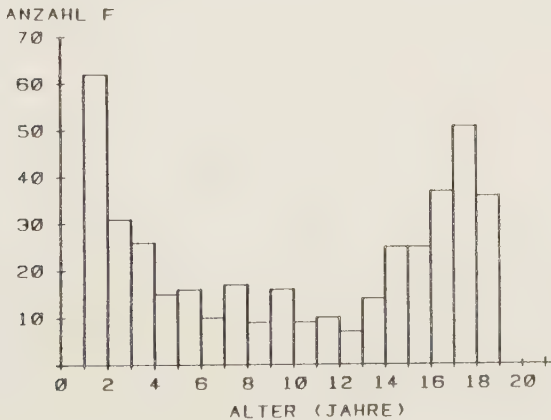


Abbildung 4: Altersverteilung der Stichproben
weibliche Sterbefälle 1-19 Jahre



2.4 Verteilung der Stichprobe auf einzelne Jahrgänge

Sydath (59) konnte zeigen, daß in den letzten 80 Jahren aufgrund der Akzeleration die mittlere Körperlänge um durchschnittlich 0,95 mm pro Jahr zugenommen hatte. Zur Beurteilung dieses Einflusses auf die Mittleren Hirngewichte und auf die Korrelation Hirngewicht und Lebensalter wurden nun die einzelnen Altersklassen bei jedem Geschlecht in vier grössere Kollektive zusammengefaßt: 0 bis 0,8 Jahre bzw. 1 Jahr, 0,8 Jahre bzw. 1 Jahr bis 7 Jahre, 7 Jahre bis 13 Jahre und 13 Jahre bis 19 Jahre. In dieser neuen Klasseneinteilung wurde sodann die relative Häufigkeit der Sterbefälle in den einzelnen Jahrgängen errechnet. Die Abbildungen 5 bis 12 zeigen diese Verteilungen, die Angaben erfolgen in Prozent der Gesamtzahl von Sterbefällen in den einzelnen Klassen.

Es erweist sich, daß die Verteilungen jeweils rechtsgipflig und stark links-schief sind, d.h., daß in den einzelnen Klassen die jeweils jüngsten Jahrgänge einen zahlenmäßig überproportionalen Anteil an Sterbefällen stellen. Dies würde jedoch auch bedeuten, daß sich der Einfluß der Akzeleration hauptsächlich auf eine Spanne von 10 bis höchstens 14 Jahren erstreckt - was einer Körperlängenzunahme von maximal 1,3 cm entspräche.

Abb. 5: Verteilung der Stich-
probe auf einzelne
Jahrgänge:

männliche Sterbefälle
der Altersklasse
0 - 1 Jahr

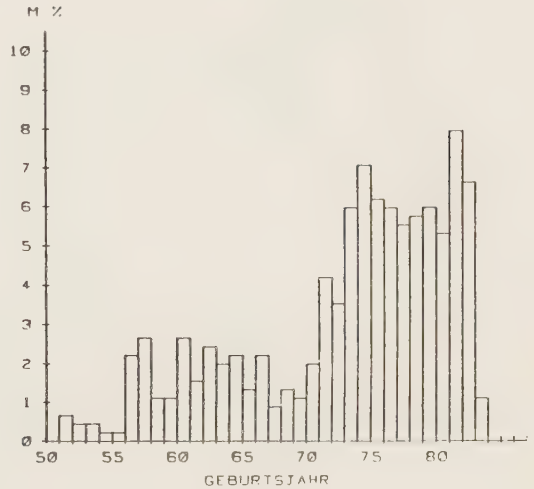


Abb. 6: Verteilung der Stich-
probe auf einzelne
Jahrgänge:

männliche Sterbefälle
der Altersklasse
1 - 7 Jahre

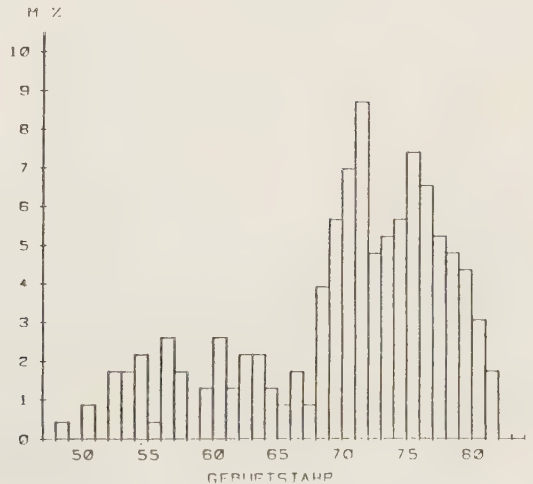


Abb. 7: Verteilung der Stich-
probe auf einzelne
Jahrgänge:

männliche Sterbefälle
der Altersklasse
7 - 13 Jahre

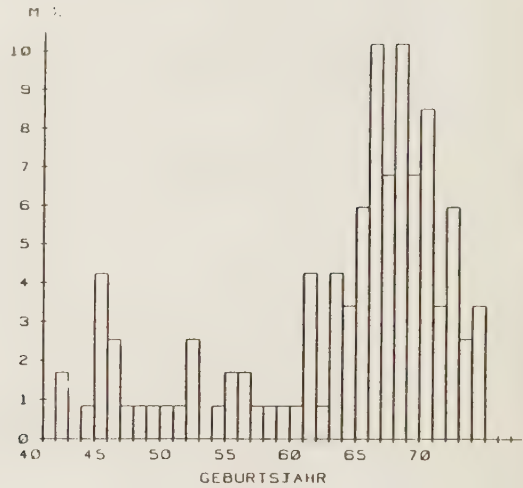


Abb. 8: Verteilung der Stich-
probe auf einzelne
Jahrgänge:

männliche Sterbefälle
der Altersklasse
13 - 19 Jahre

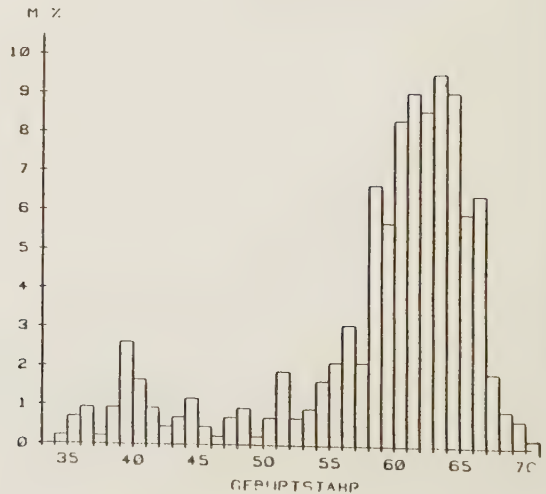


Abb. 9: Verteilung der Stich-
probe auf einzelne
Jahrgänge:

weibliche Sterbefälle
der Altersklasse
0 - 0,8 Jahre

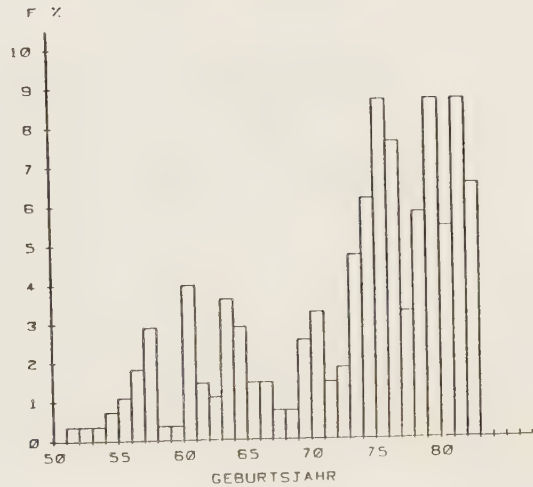


Abb. 10: Verteilung der Stich-
probe auf einzelne
Jahrgänge:

weibliche Sterbefälle
der Altersklasse
0,8 - 7 Jahre

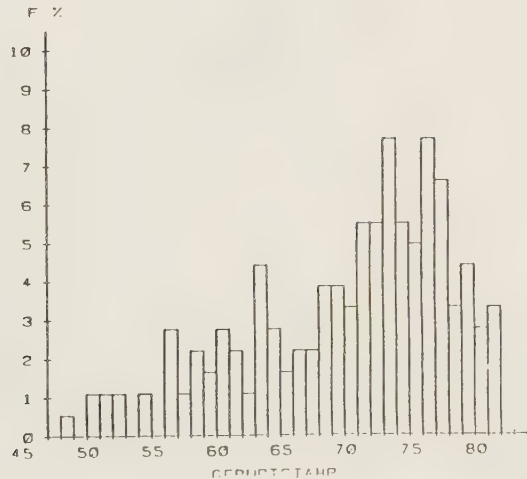


Abb. 11: Verteilung der Stich-
probe auf einzelne
Jahrgänge:

weibliche Sterbefälle
der Altersklasse
7 - 13 Jahre

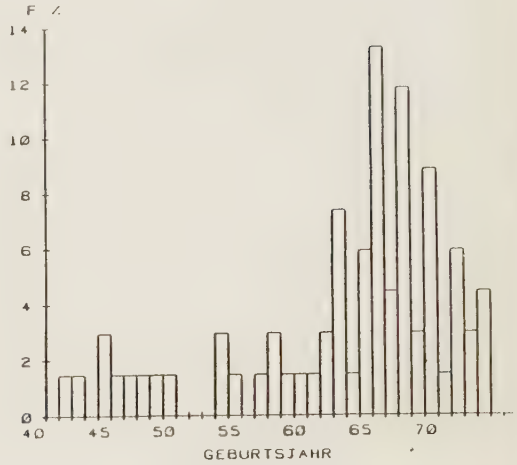
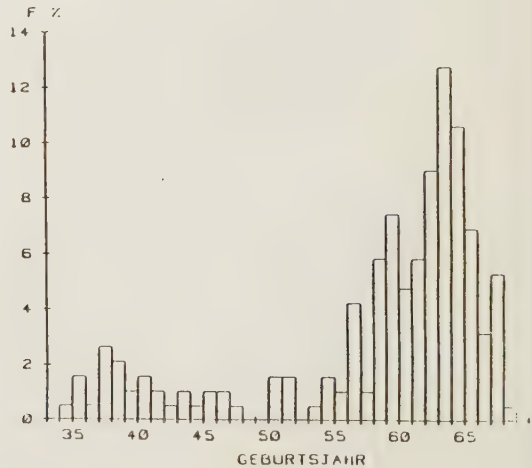


Abb. 12: Verteilung der Stich-
probe auf einzelne
Jahrgänge:

weibliche Sterbefälle
der Altersklasse
13 - 19 Jahre



2.5 Längen-Alters- und Gewichts-Alterskorrelation in der Stichprobe

Werden Körperlänge und Körpergewicht in der Stichprobe jeweils mit dem Lebensalter korreliert dargestellt, so ergeben sich Bilder, die den in der Pädiatrie gebräuchlichen Percentilenstandards (52, 61) gleichen. Anhand der Abbildungen konnten z.B. Irrläufer aufgrund fehlerhafter Eingaben in den Computer oder durch Schreibfehler bei den Sektionsprotokollen identifiziert und eliminiert werden. Bei Sterbefällen, für die diese Fehlermöglichkeiten nicht in Betracht kamen, galten die Daten als korrekt und verblieben in der Erhebung. Die Abbildungen 13 bis 16 zeigen die bereits bereinigten Verhältnisse.

2.6 Längen-Gewichts-Korrelation in der Stichprobe

Die Korrelation von Körperlänge und Körpergewicht - die z.B. von Pakkenberg und Voigt (47) ausgeführt wurde, um eine Scheinkorrelation von Hirn- und Körpergewicht zu belegen - dient dem selben Zweck. Zusätzlich konnten so mit Hilfe der Graphiken Fälle von extremem Übergewicht oder Unterernährung sowie alle sonstigen Verdachtsfälle von schweren, pathologischen Gewichtsveränderungen ausgeschlossen werden. Die Abbildungen 17 und 18 zeigen den bereits um diese Daten korrigierten Zustand.

Abb. 13: Beziehung zwischen
Körperlänge und Lebens-
alter bei den männlichen
Sterbefällen

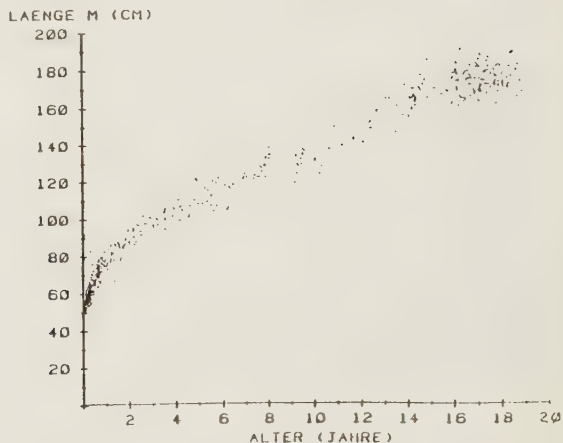


Abb. 14: Beziehung zwischen
Körperlänge und Lebens-
alter bei den weiblichen
Sterbefällen

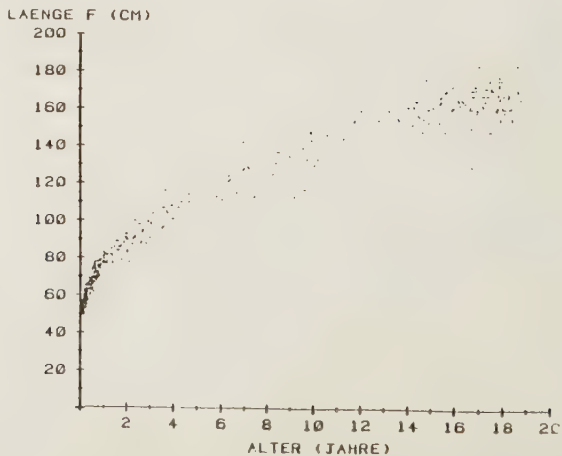


Abb. 15: Beziehung zwischen
Körpergewicht und Lebens-
alter bei den männlichen
Sterbefällen

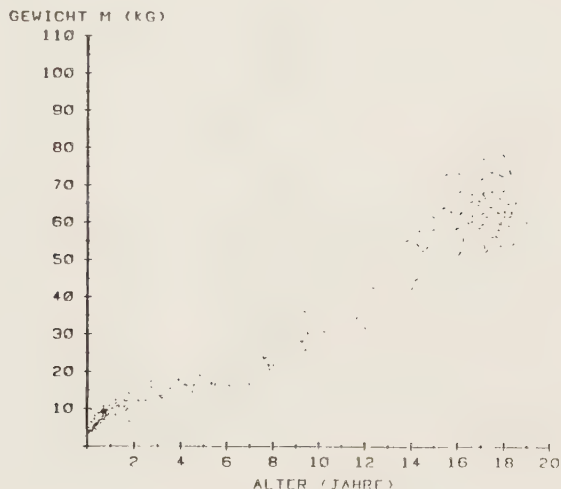


Abb. 16: Beziehung zwischen
Körpergewicht und Lebens-
alter bei den weiblichen
Sterbefällen

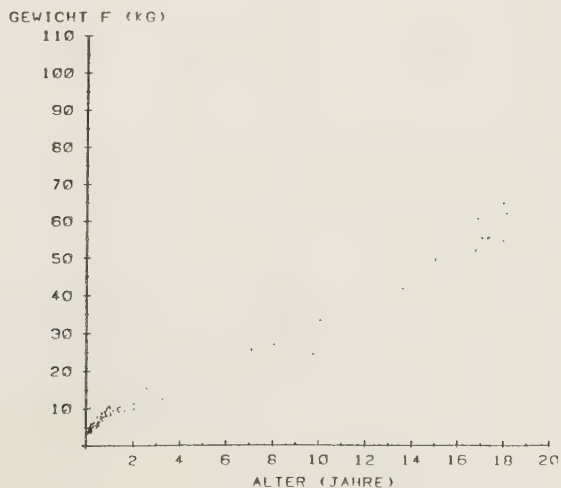


Abb. 17: Längen-Gewichts-Korrelation
bei männlichen Sterbefällen

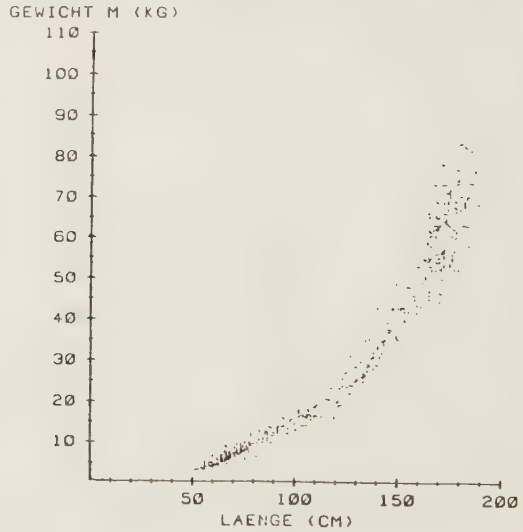
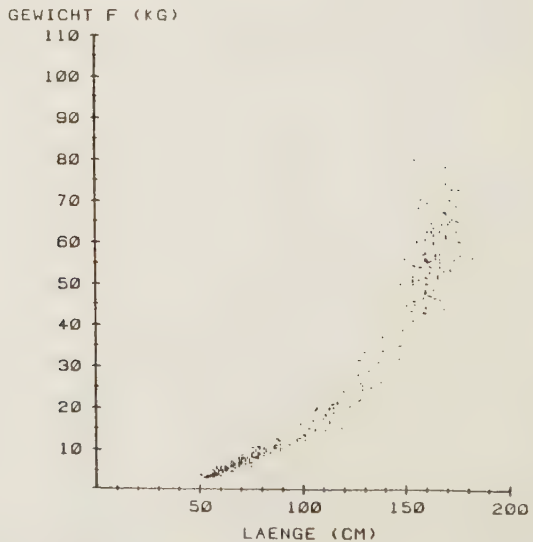


Abb. 18: Längen-Gewichts-Korrelation
bei weiblichen Sterbefällen



3. Ergebnisse

3.1 Mittlere Hirngewichte in den einzelnen Altersklassen

Die Tabellen 3 und 4 zeigen das mittlere Hirngewicht in den einzelnen Altersklassen bei männlichen Sterbefällen, die Tabellen 5 und 6 bei weiblichen. Das mittlere Hirngewicht beträgt beim männlichen Sterbefall im Alter von 0 - 0,5 Monaten 382,8 g, die Standardabweichung 16 g. Im Alter von 10 - 10,5 Monaten, nach noch nicht ganz einem Jahr, hat das Hirngewicht bereits etwa das 2,7fache seiner ursprünglichen Masse erreicht. Bis zum 6. Lebensjahr ist das Wachstum immer noch schnell, das Gehirn nimmt nochmals gut ein Drittel an Gewicht zu. Danach folgt nur noch eine langsame Zunahme, bereits nach dem 10. Lebensjahr befindet sich das Hirngewicht auf seinem höchsten Wert, 1.529 g ($s = 26g$). Nach Vollendung des 15. Lebensjahrs schließlich zeigt sich bereits eine langsame Abnahme des durchschnittlichen Hirngewichts.

Eine gleichartige Altersabhängigkeit zeigen die mittleren Hirngewichte der weiblichen Sterbefälle: Ausgehend vom mittleren Hirngewicht von 361 g ($s = 12g$) im Alter von 0 - 0,5 Monaten ergibt sich eine Zunahme des mittleren Hirngewichtes in 10,5 Monaten auf das 2,7 fache des Geburtsgewichtes. Am Ende des 5. Lebensjahres hat sich dieses Hirngewicht nochmals um ein knappes Drittel vermehrt. Bei den 12 - 13 jährigen erreicht das mittlere Hirngewicht seinen höchsten Wert von 1.396 g ($s = 46g$). Nach Vollendung des 15. Lebensjahres scheint die Gewichtszunahme des Gehirns spätestens abgeschlossen sein.

Die Abbildungen 19 bis 22 zeigen in graphischer Darstellung die mittleren Hirngewichte in den einzelnen Altersklassen mit der entsprechenden 3s-Grenze.

Tabelle 3: Mittleres Hirngewicht, mittlere Körperlänge und mittleres Körpergewicht in den einzelnen Altersklassen

männliche Sterbefälle: 0 - 12 Monate

Altersklasse (Monate)	Anzahl	Mittleres Hirngewicht (g)	Standard- abweichung (g)	Mittlere Körperlänge (cm)	Standard- abweichung (cm)	Mittleres Körpergewicht (kg)	Standard abweichung (kg)
0,0 - 0,5	32	382,8	16	51,9	0,9	3,0	0,14
0,5 - 1,0	15	480,9	16	54,1	0,8	3,3	0,17
1,0 - 1,5	30	571,3	38	57,6	0,5	4,3	0,11
1,5 - 2,0	20	591,0	24	59,4	0,6	4,5	0,14
2,0 - 2,5	41	653,5	18	60,4	0,6	5,6	0,24
2,5 - 3,0	38	635,6	15	60,0	0,6	5,1	0,14
3,0 - 3,5	28	673,8	10	62,0	0,5	5,5	0,16
3,5 - 4,0	39	703,5	20	64,1	0,8	6,2	0,17
4,0 - 4,5	25	737,6	16	65,6	1,3	6,1	0,22
4,5 - 5,0	25	743,0	17	66,3	0,8	6,1	0,21
5,0 - 5,5	16	850,7	17	67,2	0,9	7,0	0,22
5,5 - 6,0	18	820,4	23	68,0	1,0	7,0	0,23
6,0 - 6,5	14	853,5	20	71,0	1,2	7,5	0,33
6,5 - 7,0	13	868,2	23	71,2	0,9	7,3	0,33
7,0 - 7,5	13	929,5	20	72,4	0,7	7,3	0,31
7,5 - 8,0	13	901,7	19	71,5	1,1	8,4	0,44
8,0 - 8,5	22	927,1	20	72,9	0,6	8,5	0,26
8,5 - 9,0	10	919,1	34	73,0	1,4	8,1	0,48
9,0 - 9,5	11	951,8	33	74,5	1,2	8,7	0,37
9,5 - 10,0	11	943,8	18	74,6	0,7	9,2	0,24
10,0 - 10,5	4	1.054,8	6	80,3	2,4	8,7	0,41
10,5 - 11,0	4	1.015,8	21	78,0	1,8	9,5	0,35
11,0 - 11,5	7	1.052,4	40	76,6	1,3	9,5	0,68
11,5 - 12,0	3	1.041,7	36	79,0	2,3	7,5	1,92

Tabelle 4: Mittleres Hirngewicht, mittlere Körperlänge und mittleres Körpergewicht in den einzelnen Altersklassen

männliche Sterbefälle: 1 - 19 Jahre

Altersklasse (Jahre)	Anzahl	Mittleres Hirngewicht (g)	Standard- abweichung (g)	Mittlere Körperlänge (cm)	Standard- abweichung (cm)	Mittleres Körpergewicht (kg)	Standard abweichung (kg)
1 - 2	74	1.135,4	15	83,9	0,7	10,7	0,25
2 - 3	44	1.236,8	20	94,2	0,9	13,2	0,36
3 - 4	40	1.301,2	36	99,7	1,5	14,1	0,67
4 - 5	28	1.421,4	24	109,0	2,3	17,8	0,50
5 - 6	22	1.388,8	47	116,4	2,1	18,9	0,00
6 - 7	22	1.380,5	28	115,2	1,8	20,2	0,92
7 - 8	25	1.459,3	29	126,9	1,2	23,3	0,63
8 - 9	12	1.486,8	48	128,8	1,6	26,3	0,99
9 - 10	26	1.452,3	30	137,2	2,2	32,3	1,97
10 - 11	21	1.528,9	26	142,1	2,1	35,6	1,70
11 - 12	12	1.503,9	54	146,1	2,4	37,2	2,91
12 - 13	22	1.483,9	30	151,1	1,3	40,4	1,36
13 - 14	24	1.513,9	29	157,3	1,9	46,5	1,83
14 - 15	55	1.521,7	19	167,2	1,2	53,8	1,25
15 - 16	42	1.510,7	21	170,4	1,3	61,2	1,93
16 - 17	102	1.506,6	13	173,7	0,8	62,2	1,07
17 - 18	116	1.502,9	14	174,6	0,6	64,1	0,87
18 - 19	80	1.486,6	16	174,4	0,8	66,0	1,33

Tabelle 5: Mittleres Hirngewicht, mittlere Körperlänge und mittleres Körpergewicht in den einzelnen Altersklassen weibliche Sterbefälle: 0 - 12 Monate

Altersklasse (Monate)	Anzahl	Mittleres Hirngewicht (g)	Standard- abweichung (g)	Mittlere Körperlänge (cm)	Standard- abweichung (cm)	Mittleres Körpergewicht (kg)	Standard abweichung (kg)
0,0 -	0,5	361,0	12	50,6	0,7	2,9	0,12
0,5 -	1,0	433,4	16	53,9	1,0	3,4	0,13
1,0 -	1,5	469,0	13	55,2	0,5	3,7	0,17
1,5 -	2,0	522,9	11	56,8	1,0	4,2	0,16
2,0 -	2,5	590,2	20	58,7	0,6	4,7	0,29
2,5 -	3,0	592,0	13	58,6	1,7	4,6	0,18
3,0 -	3,5	656,5	16	61,4	0,6	5,4	0,13
3,5 -	4,0	677,1	18	63,2	1,3	5,8	0,25
4,0 -	4,5	702,8	26	66,1	0,7	6,6	0,54
4,5 -	5,0	707,5	23	65,3	0,9	6,2	0,38
5,0 -	5,5	779,6	17	66,4	1,0	6,2	0,30
5,5 -	6,0	776,1	28	66,7	0,7	6,3	0,27
6,0 -	6,5	796,9	20	69,1	0,9	6,4	0,25
6,5 -	7,0	764,6	4	67,1	1,9	6,3	0,41
7,0 -	7,5	875,6	20	71,0	1,1	7,5	0,25
7,5 -	8,0	876,8	29	72,3	1,3	7,9	0,30
8,0 -	8,5	900,0	20	70,9	1,5	7,4	0,38
8,5 -	9,0	817,1	18	72,0	1,1	7,2	0,48
9,0 -	9,5	994,5	58	75,8	1,7	8,5	0,63
9,5 -	10,0	899,5	25	74,0	1,2	8,5	0,24
10,0 -	10,5	939,2	35	76,4	1,2	8,5	0,39
10,5 -	11,0	980,0	36	76,5	1,0	8,9	0,63
11,0 -	11,5	979,0	10	76,0	2,1	8,1	1,09
11,5 -	12,0	1.000,0	30	79,5	1,5	10,4	0,40

Tabelle 6: Mittleres Hirngewicht, mittlere Körperlänge und mittleres Körpergewicht in den einzelnen Altersklassen weibliche Sterbefälle: 1 - 19 Jahre

Altersklasse (Jahre)	Anzahl	Mittleres Hirngewicht (g)	Standard- abweichung (g)	Mittlere Körperlänge (cm)	Standard- abweichung (cm)	Mittleres Körpergewicht (kg)	Standard abweichung (kg)
1 - 2	62	1.018,5	50	80,6	0,7	9,5	0,26
2 - 3	31	1.134,3	31	91,0	0,9	12,6	0,41
3 - 4	26	1.239,6	24	102,5	1,3	15,2	0,56
4 - 5	15	1.288,3	34	108,1	1,7	16,8	0,87
5 - 6	16	1.289,7	35	114,6	2,3	18,6	0,68
6 - 7	10	1.284,3	46	119,4	1,9	21,7	1,13
7 - 8	17	1.299,3	33	122,9	2,1	29,9	1,28
8 - 9	9	1.379,9	24	131,4	1,6	28,2	1,30
9 - 10	16	1.316,3	31	135,4	2,7	28,2	1,27
10 - 11	9	1.322,6	60	139,0	2,3	32,8	1,64
11 - 12	10	1.377,9	46	149,8	2,0	38,0	2,16
12 - 13	7	1.396,6	46	156,6	3,1	48,8	3,935
13 - 14	14	1.320,6	30	158,3	2,2	49,7	2,86
14 - 15	25	1.356,1	30	159,9	1,6	49,6	1,86
15 - 16	25	1.335,7	16	161,1	1,1	56,0	1,94
16 - 17	37	1.340,1	17	163,6	1,4	55,5	1,24
17 - 18	51	1.343,5	15	164,0	1,2	58,6	1,31
18 - 19	36	1.315,2	17	163,4	1,2	59,1	1,57

Abb. 19: Mittlere Hirngewichte
männlicher Sterbefälle in den Altersklassen 0 - 12 Monate
mit 3s - Toleranzbereich

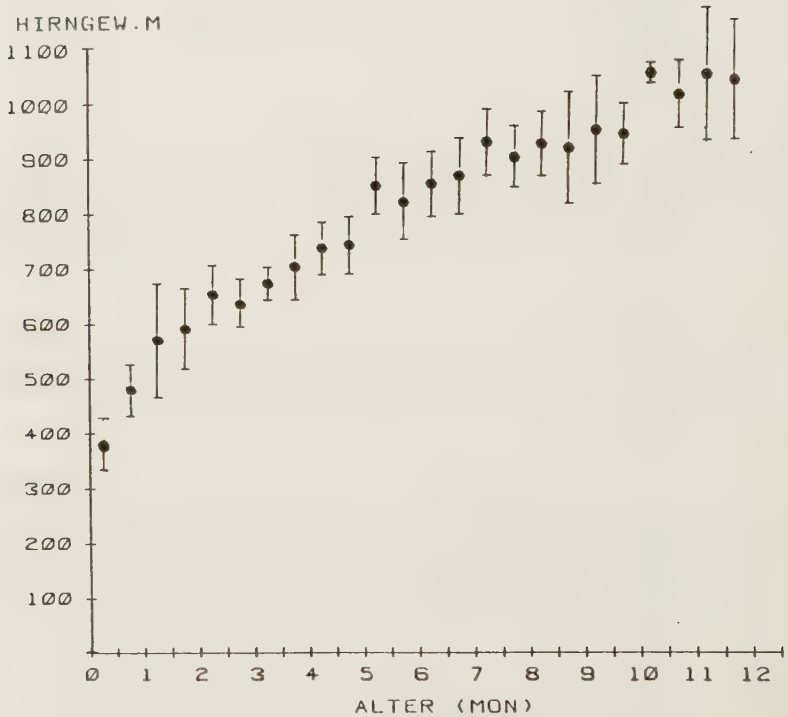


Abb. 20: Mittlere Hirngewichte
männlicher Sterbefälle in den Altersklassen 1 - 19 Jahre
mit 3s - Toleranzbereich

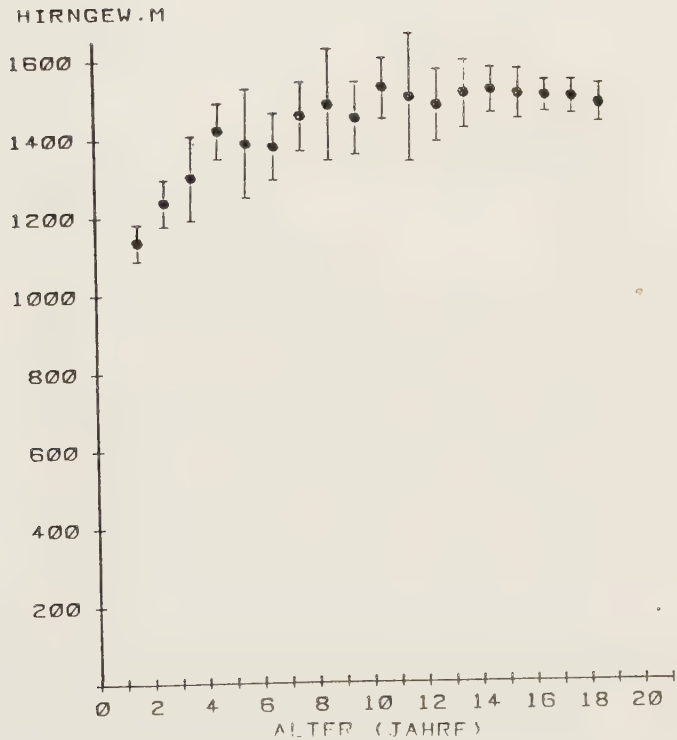


Abb., 21: Mittlere Hirngewichte
weiblicher Sterbefälle in den Altersklassen 0 - 12 Monate
mit 3s - Toleranzbereich

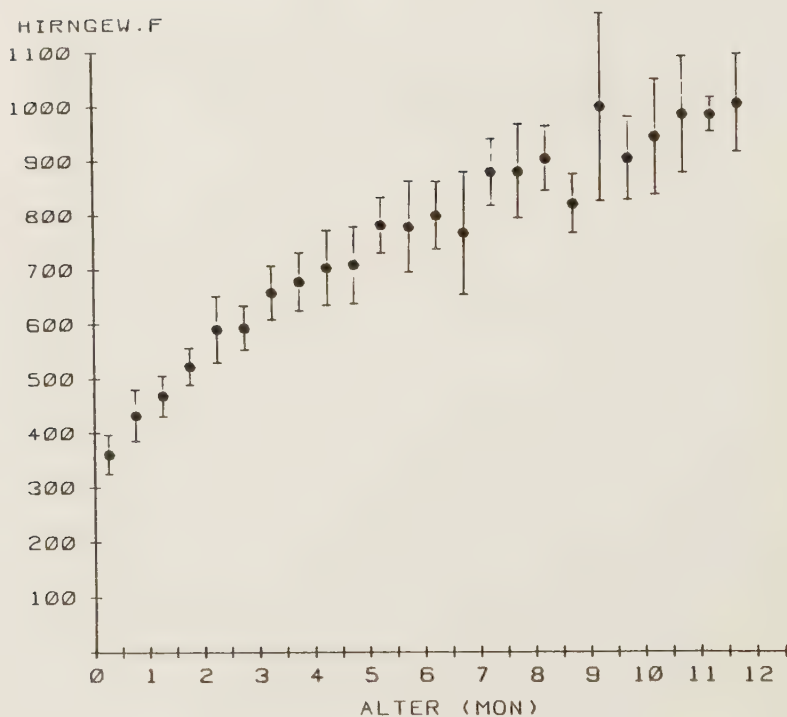
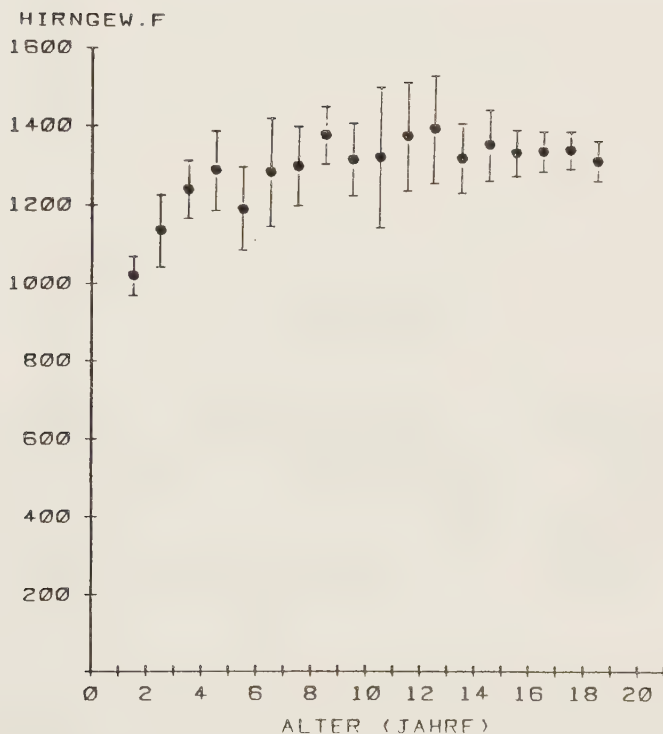


Abb. 22: Mittlere Hirngewichte
weiblicher Sterbefälle in den Altersklassen 1 - 19 Jahre
mit 3s - Toleranzbereich



3.2 Zusammenhang zwischen Hirngewicht und Körperlänge

In den Abbildungen 23 und 24 wurde bei männlichen und weiblichen Sterbefällen das Hirngewicht gegen die Körperlänge aufgetragen. Aus den Abbildungen ist zu erkennen, daß das Gehirn mit steigender Körperlänge zunächst linear an Masse zunimmt, später jedoch die Wachstumsrate mehr und mehr abnimmt. Hier besteht ein nichtlinearer Zusammenhang.

Bei den männlichen Sterbefällen läßt sich im Körperlängenbereich von 50 bis 85 cm [das entspricht etwa einem Körpergewicht von 10 kg und einem Alter von 1,4 Jahren (Abb. 15-18)] der Zusammenhang von Hirngewicht und Körperlänge als linear beschreiben (Abb. 25). Die entsprechende Regressionsgleichung lautet:

$$\begin{aligned}\text{Hirngewicht [g]} &= - 624,3 + 20,3 \times \text{Körperlänge [cm]} \\ &\quad (\text{mit Standardabweichung } s = 108 \text{ g}) \\ &\quad \text{Bestimmtheitsmaß } r^2 = 0,71 \\ &\quad \text{Korrelationskoeffizient } r = + 0,84\end{aligned}$$

Dasselbe gilt für weibliche Sterbefälle im Körperlängenbereich von 50-80 cm, entsprechend etwa einem Körpergewicht von 10 kg und einem Lebensalter von 1,25 Jahren (Abb. 26). Die Gleichung lautet:

$$\begin{aligned}\text{Hirngewicht [g]} &= -671,8 + 21,3 \times \text{Körperlänge [cm]} \\ &\quad (\text{mit } s = 87 \text{ g, } r^2 = 0,79, r = + 0,89)\end{aligned}$$

Bei männlichen Sterbefällen nimmt das Hirngewicht also in diesem Bereich um 20,3 g pro cm zu, bei weiblichen um 21,3 g. Die Gerade verläuft bei letzteren geringfügig steiler und somit ist die Zunahme des Hirngewichts pro Längeneinheit hier größer. Dabei liegt jedoch der Schnittpunkt der Geraden mit der y-Achse tiefer. Der Effekt wird da-

durch verstärkt, daß der Körperlängenbereich, für den die Funktion gilt, sich bei männlichen Sterbefällen um 5cm weiter nach oben erstreckt.

Die Abb. 27 und 28 zeigen den Körperlängenbereich ab 85 cm bzw. 80 cm. Dabei wurde die Körperlänge im logarithmischen Maßstab aufgetragen, was zu einer weitgehenden Linearisierung in diesem Bereich führt. Die entsprechenden Regressionen lauten für die männlichen Sterbefälle:

$$\begin{aligned}\text{Hirngewicht [g]} &= 850 + 150 \times \ln (\text{Körperlänge [cm]} - 77,5) \\ &(\text{mit } s = 140\text{g}, r^2 = 0,33, r = + 0,58)\end{aligned}$$

für weibliche Sterbefälle:

$$\begin{aligned}\text{Hirngewicht [g]} &= 566 + 204 \times \ln (\text{Körperlänge [cm]} - 70,4) \\ &(\text{mit } s = 118\text{g}, r^2 = 0,37, r = + 0,61)\end{aligned}$$

Für diesen Bereich geht aus den Gleichungen und aus den Abbildungen hervor, daß die Kurve für männliche Sterbefälle zwar höher liegt, jedoch flacher verläuft. Das bedeutet, daß die Zunahme des Hirngewichts pro cm beim männlichen Geschlecht geringer ist als beim weiblichen. Mit jeder Verdoppelung der Differenz zwischen Körperlänge und dem Betrag von 77,5 cm stiegt hier das Hirngewicht um 104 g, bei den Frauen steigt das Hirngewicht, wenn die Differenz Körperlänge - 70,4 cm verdoppelt wird, um 141 g.

Abb. 23: Hirngewicht und Körperlänge bei männlichen
Sterbefällen
Regression und 2s - Toleranzgrenzen

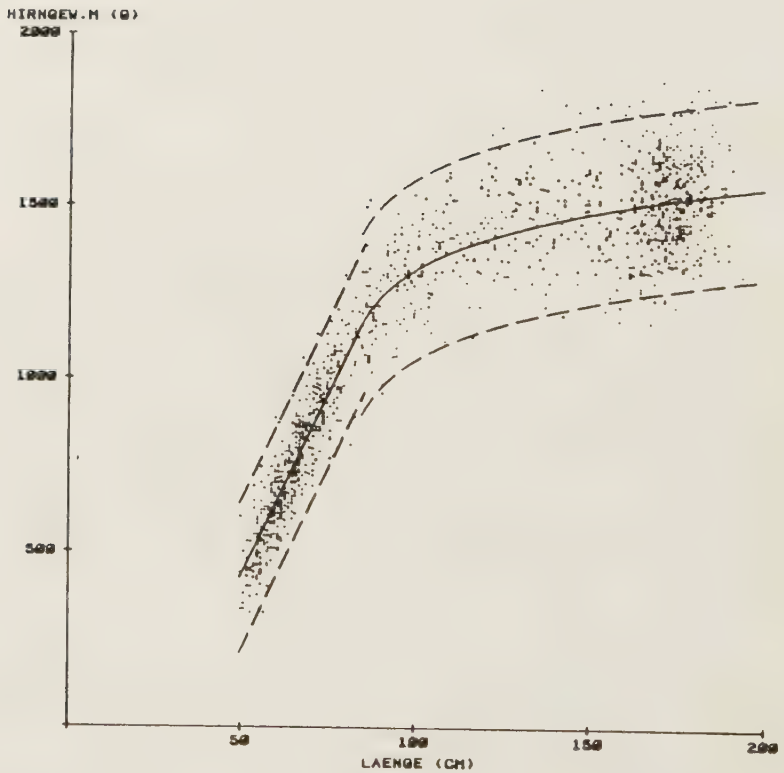


Abb. 24: Hirngewicht und Körperlänge bei weiblichen
Sterbefällen
Regression und 2s - Toleranzgrenzen

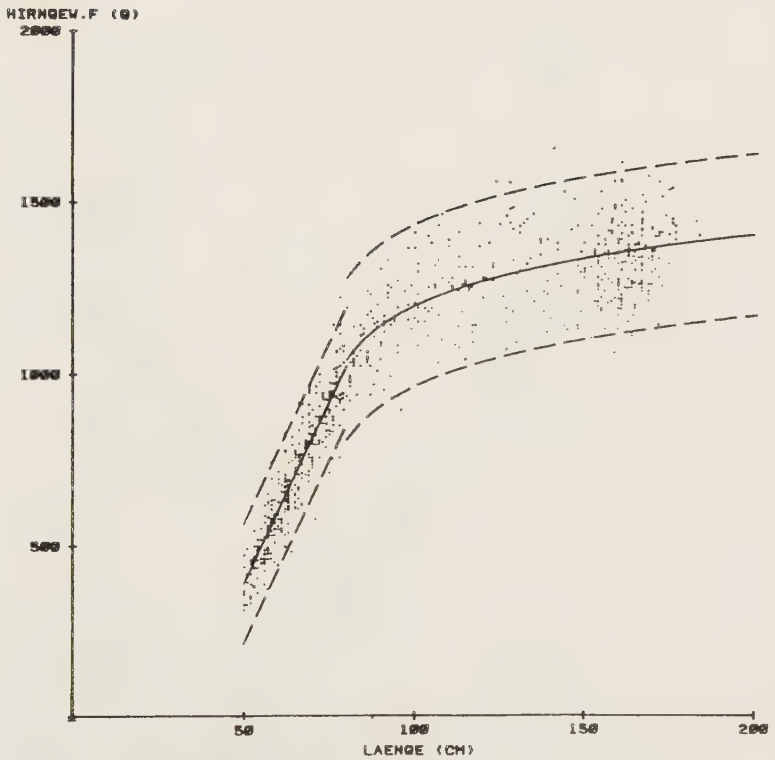


Abb. 25: Hirngewicht und Körperlänge bei männlichen Sterbefällen im Größenbereich von 50 - 85 cm
Regressionsgerade und 2s - Toleranzgrenzen

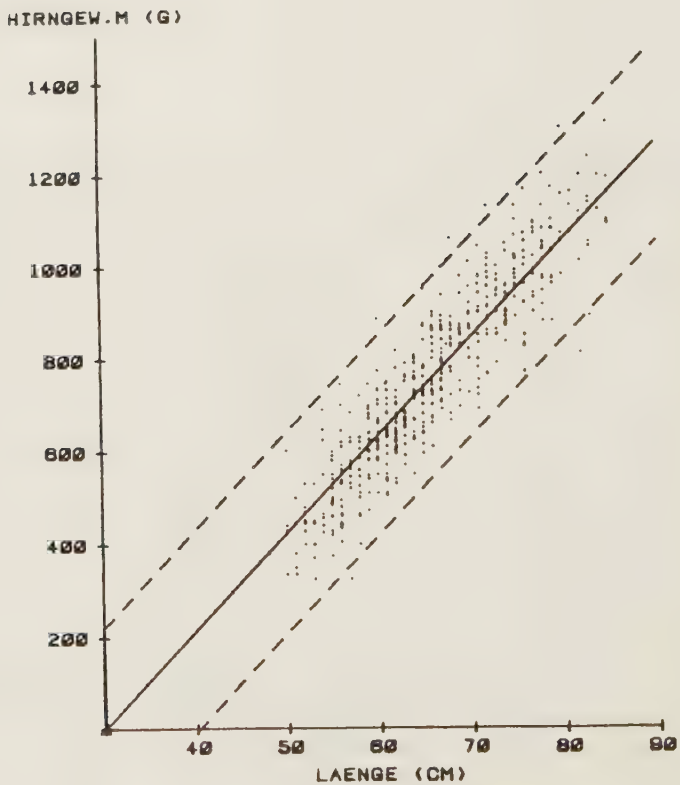


Abb. 26: Hirngewicht und Körperlänge bei weiblichen Sterbefällen im Größenbereich von 50 - 80 cm
Regressionsgerade und 2s - Toleranzgrenzen

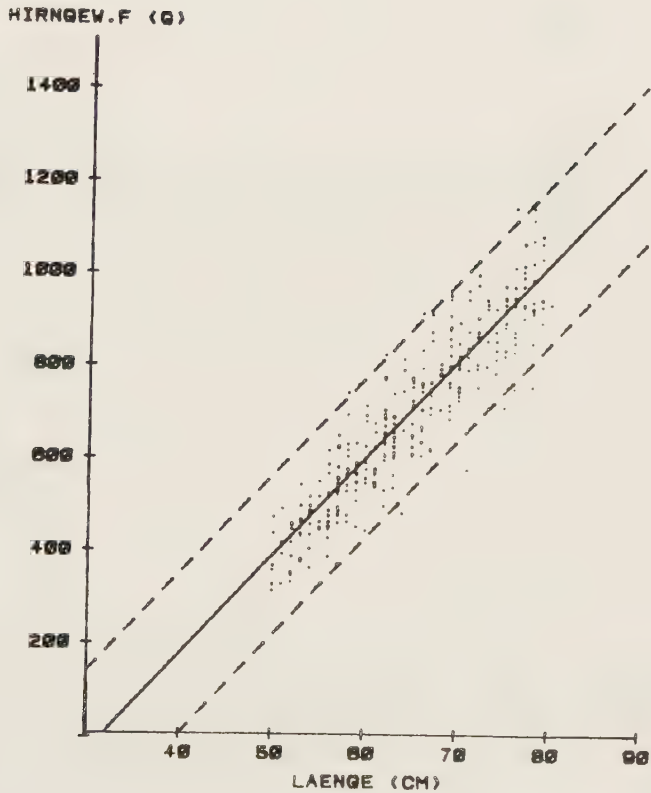


Abb 27: Hirngewicht und Körperlänge (logarithmischer Maßstab)
bei männlichen Sterbefällen im Größenbereich ab 85 cm
Regressionsgerade und 2s - Toleranzgrenzen

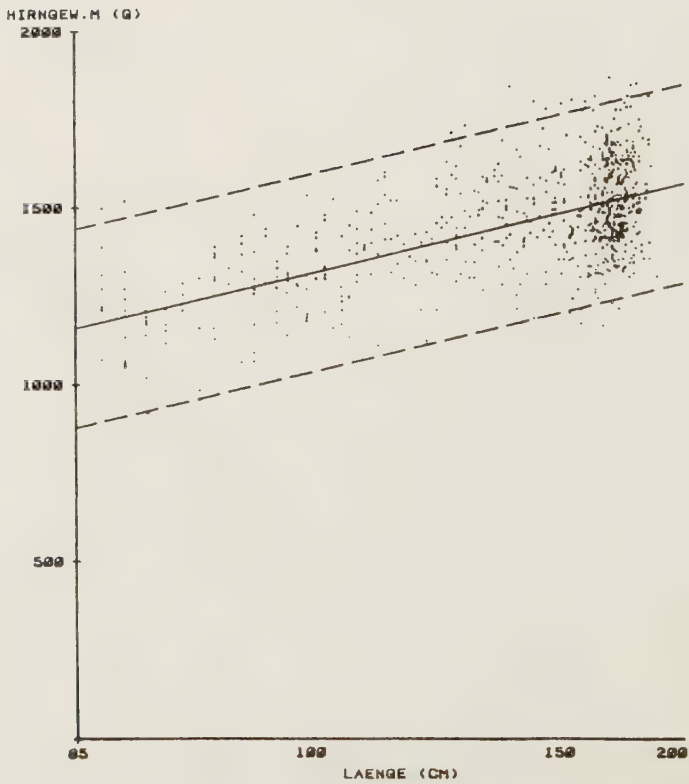
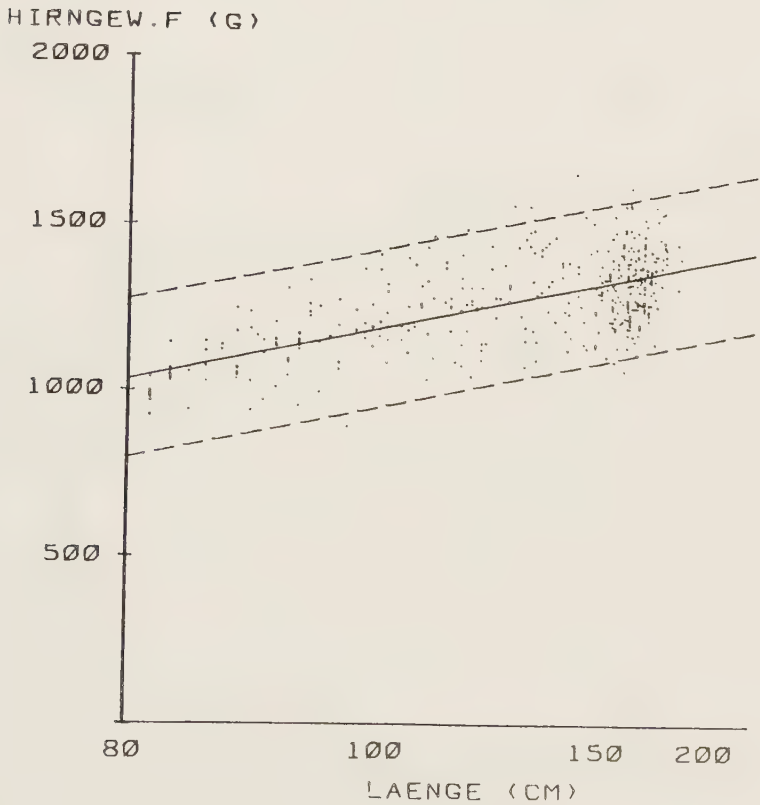


Abb 28: Hirngewicht und Körperlänge (logarithmischer Maßstab)
bei weiblichen Sterbefällen im Größenbereich ab 80 cm
Regressionsgerade und 2s - Toleranzgrenzen



3.3 Zusammenhang zwischen Hirngewicht und Körpergewicht

Ein enger und linearer Zusammenhang zwischen Hirngewicht und Körpergewicht ist nur bis zu einem Körpergewicht von etwa 5 kg erkennbar (Abb. 29 und 30). Diese Beziehung gilt also spätestens nicht mehr ab einer Körperlänge von 60 cm und einem Lebensalter von 3 Monaten (Abb. 15 - 18).

Die Regressionsgeraden lauten für männliche Sterbefälle:

$$\begin{aligned}\text{Hirngewicht [g]} &= 136 + 108 \times \text{Körpergewicht [kg]} \\ (s &= 127 \text{ g}, r^2 = 0,26, r = + 0,5) \text{ [Abb. 31]}\end{aligned}$$

bzw. für weibliche Sterbefälle:

$$\begin{aligned}\text{Hirngewicht [g]} &= 94,3 + 108,6 \times \text{Körpergewicht [kg]} \\ (s &= 89 \text{ g}, r^2 = 0,50, r = + 0,71) \text{ [Abb. 32]}\end{aligned}$$

Die Geraden verlaufen bei beiden Geschlechtern annähernd parallel, mit einer Zunahme des Hirngewichts um 108 (108,6) g/kg Körpergewicht. Bei den männlichen Sterbefällen jedoch ist der Ordinatenabschnitt größer, so daß sich für Knaben aus dem Körpergewicht Hirngewichte errechnen, die etwa 40g über den Hirngewichten der Mädchen liegen.

Abb. 29: Hirngewicht und Körpergewicht bei männlichen Sterbefällen
Versuch, eine Regression anzupassen.

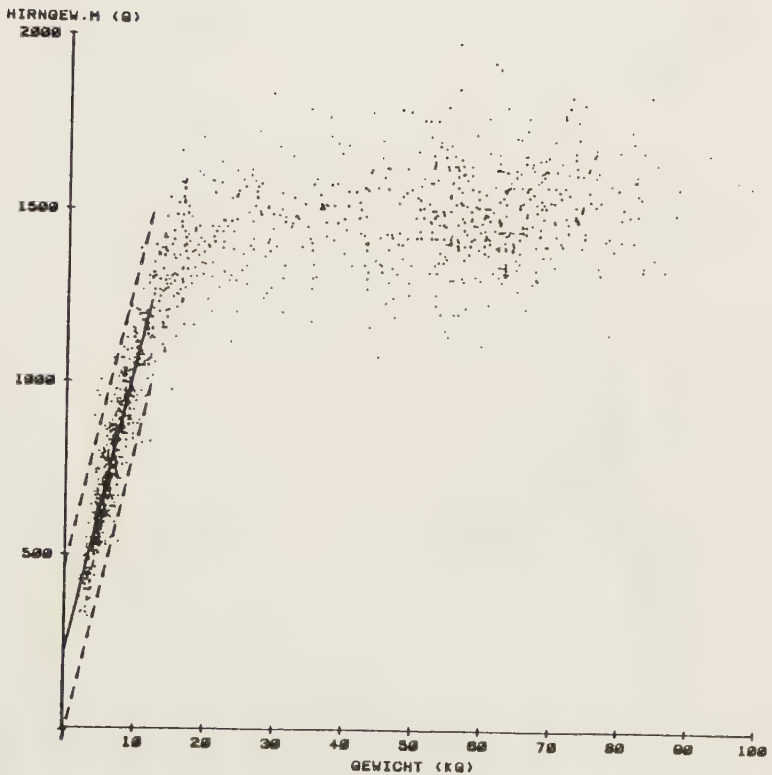


Abb. 30: Hirngewicht und Körpergewicht bei weiblichen Sterbefällen
Versuch, eine Regression anzupassen.

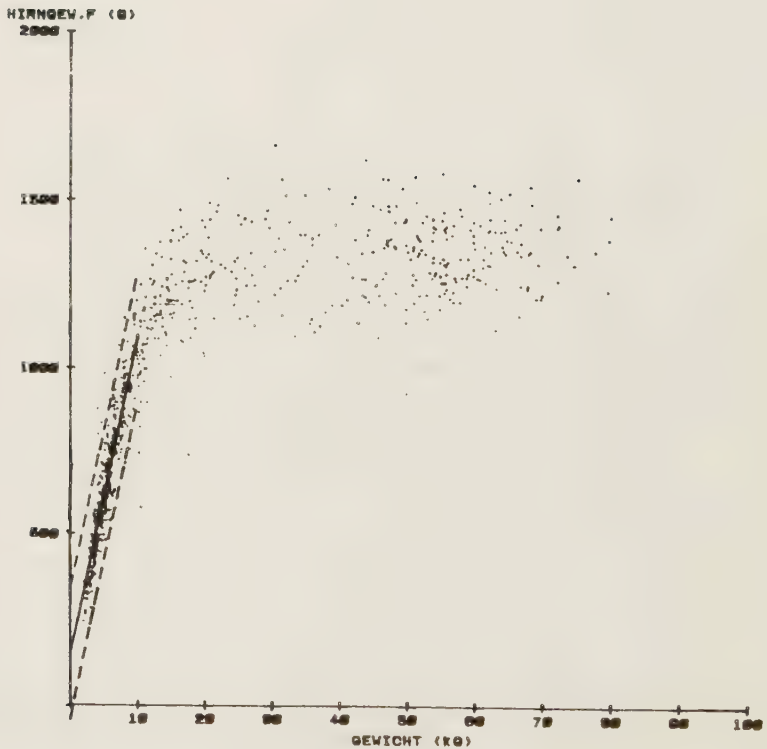


Abb. 31: Hirngewicht in Abhängigkeit vom Körpergewicht
bei männlichen Sterbefällen
Regressionsgerade und 2s-Toleranzgrenzen im Bereich
bis zu 5 kg Körpergewicht

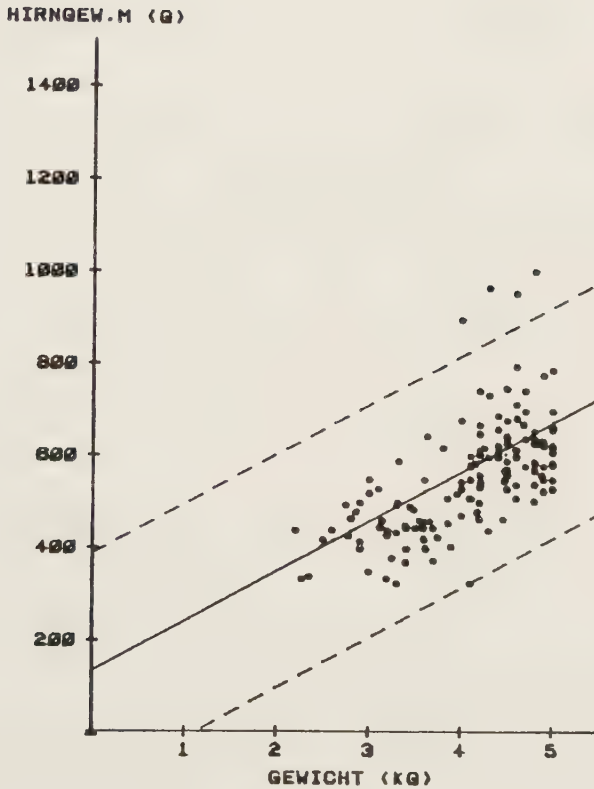
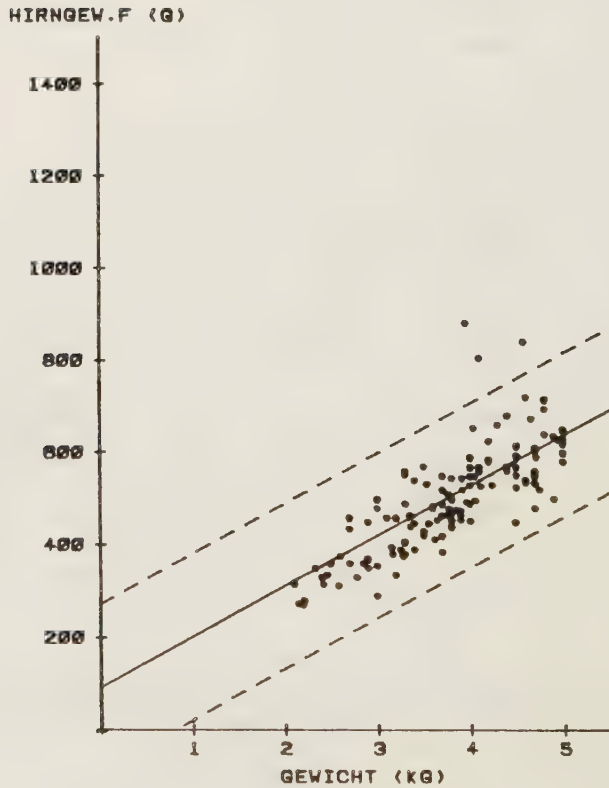


Abb. 32: Hirngewicht in Abhängigkeit vom Körpergewicht
bei weiblichen Sterbefällen
Regressionsgerade und 2s-Toleranzgrenzen im Bereich
bis zu 5 kg Körpergewicht



3.4 Zusammenhang zwischen Hirngewicht und Lebensalter

In den Abbildungen 33 und 34 ist für männliche bzw. weibliche Sterbefälle das Hirngewicht gegen das Lebensalter aufgetragen. Entsprechend dem Zusammenhang zwischen Hirngewicht und Körperlänge zeigt sich auch hier anfangs ein steiler, linearer Anstieg, gefolgt von einer langsamen, nicht linearen Zunahme des Hirngewichts. Die wesentliche Gewichtszunahme des Gehirns ist bis zum Ende des ersten Lebensjahres abgeschlossen (63 % bei männlichen, 67 % bei weiblichen Sterbefällen, ausgehend von der Gesamtgewichtszunahme).

Bei männlichen Sterbefällen kann die Beziehung zwischen Hirngewicht und Lebensalter bis zur Vollendung des 1. Lebensjahres [was etwa einer Körperlänge von 80 cm und einem Körpergewicht von 9 kg entspricht (Abb. 15-18)] durch folgende Gerade beschrieben werden (Abb. 35):

$$\begin{aligned} \text{Hirngewicht [g]} &= 508,1 + 613,6 \times \text{Lebensalter [Jahre]} \\ (s &= 103 \text{ g}, r^2 = 0,66, r = + 0,81) \end{aligned}$$

Für weibliche Sterbefälle gilt im Zeitraum 0 - 0,8 Jahre [entsprechend etwa 75 cm und 8 kg] (Abb. 36):

$$\begin{aligned} \text{Hirngewicht [g]} &= 429,2 + 678 \times \text{Lebensalter [Jahre]} \\ (s &= 74 \text{ g}, r^2 = 0,77, r = + 0,88) \end{aligned}$$

Bei den männlichen Sterbefällen ist im Vergleich zu den weiblichen die Gerade nach oben verschoben, verläuft jedoch flacher. Somit erreichen Knaben in diesem Altersbereich zwar generell höhere Hirngewichte, doch ist die Zunahme des Hirngewichts pro Zeiteinheit bei Mädchen um ca. 10% größer. Bei ersteren steigt das Hirngewicht um 1,68 g/Tag, bei letzteren um 1,86 g/Tag. Der monatliche Zuwachs des Hirngewichts beträgt 51 g bzw. 56 g.

Abb. 33: Hirngewicht und Lebensalter bei
männlichen Sterbefällen
Regression und 2s - Toleranzbereich

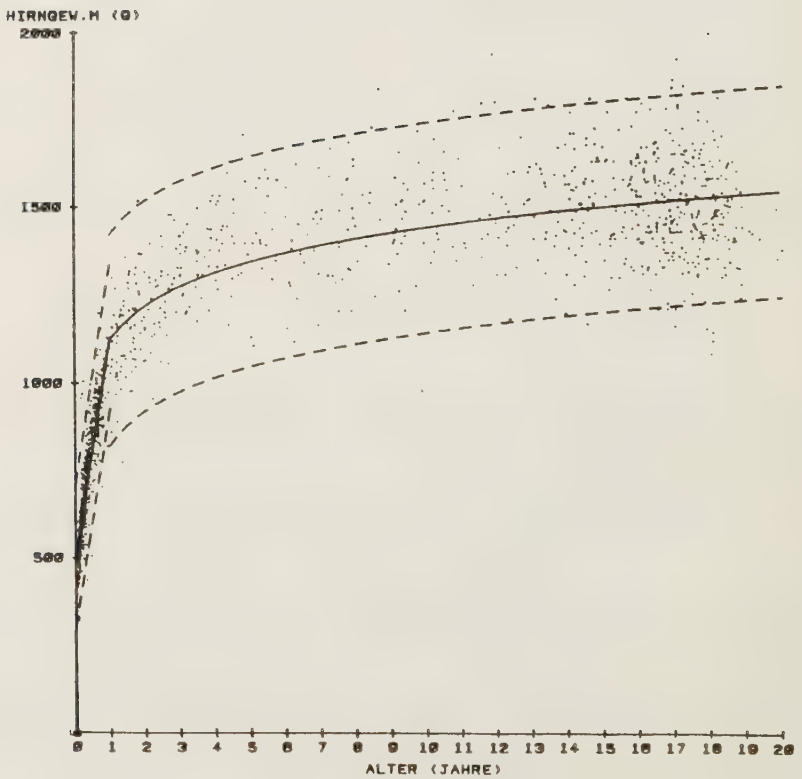


Abb. 34: Hirngewicht und Lebensalter bei
weiblichen Sterbefällen
Regression und 2s - Toleranzbereich

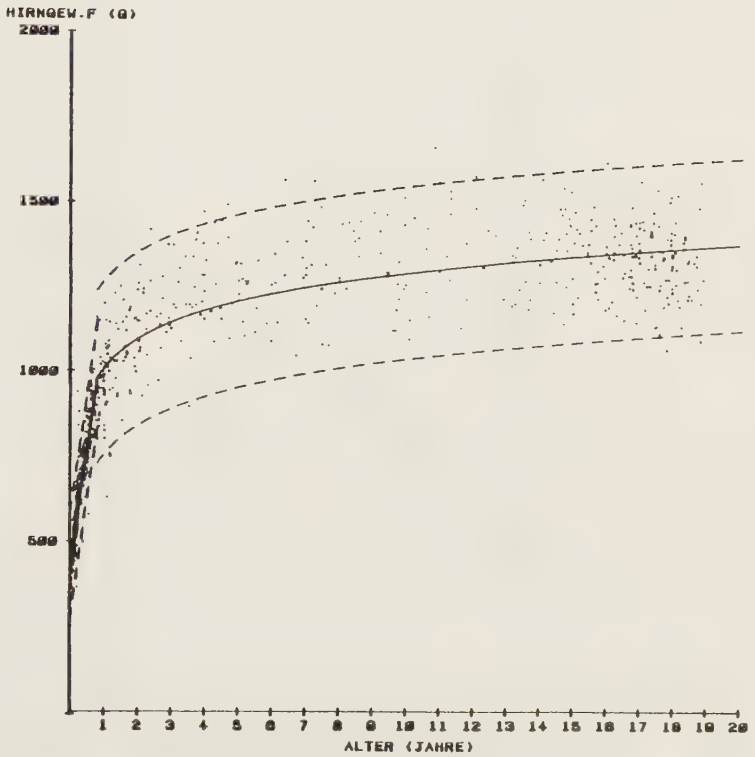


Abb 35: Hirngewicht und Lebensalter bei männlichen Sterbefällen im Altersbereich von 0 - 1 Jahr
Regressionsgerade und 2s - Toleranzbereich

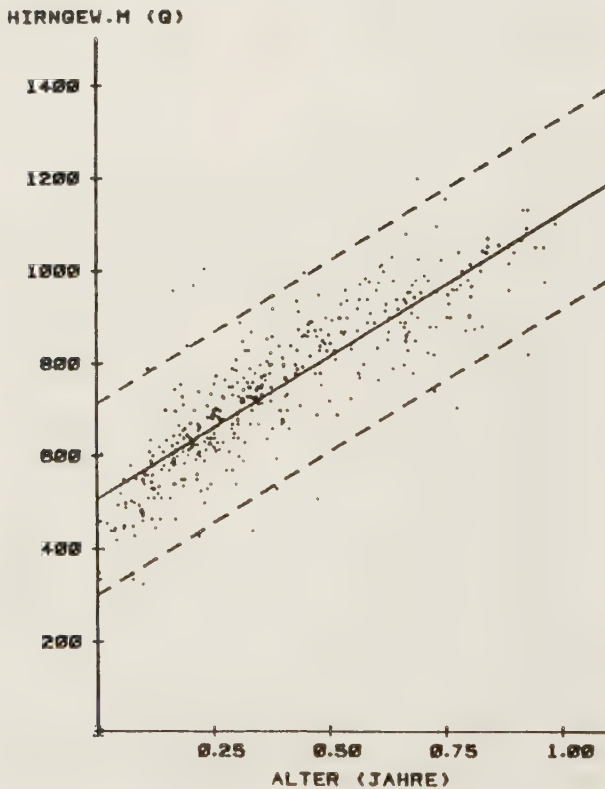
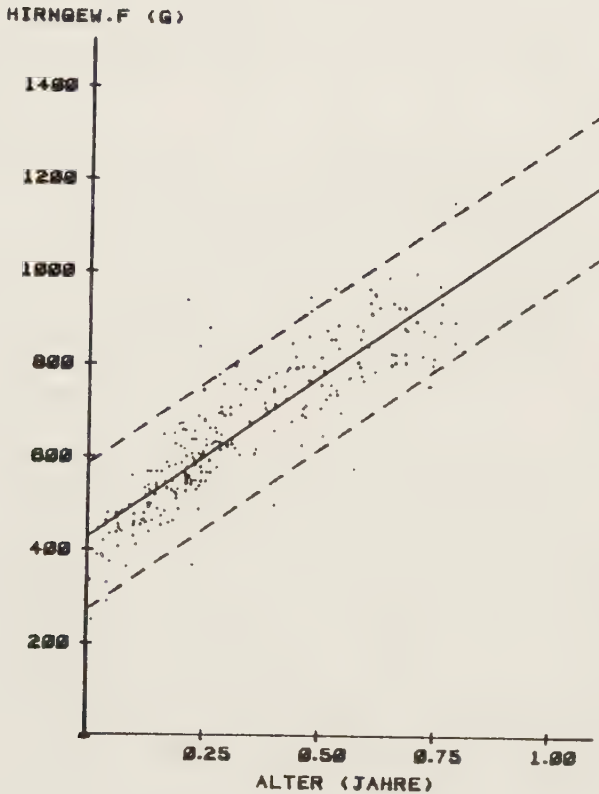


Abb 36: Hirngewicht und Lebensalter bei weiblichen Sterbefällen im Altersbereich von 0 - 1 Jahr
Regressionsgerade und 2s - Toleranzbereich



Bei beiden Geschlechtern werden jedoch die Verhältnisse des ersten Vierteljahres durch die ermittelten Regressionsgeraden nicht zufriedenstellend dargestellt. Offenbar ist im ersten Lebensquartal die Hirngewichtszunahme noch stärker als im zweiten bis vierten Quartal.

Ab Vollendung des 1. Lebensjahres (bzw. ab 0,8 Jahre) läßt sich eine Linearisierung durch logarithmische Transformation erreichen (Abb. 37 und 38). Der Zusammenhang zwischen Hirngewicht und Lebensalter wird damit durch folgende Gleichungen beschrieben:

$$\begin{aligned}\text{Hirngewicht [g]} &= 1.122 + 139,8 \times \ln \text{Lebensalter [Jahre]} \\ (s &= 150 \text{ g}, r^2 = 38, r = + 0,62)\end{aligned}$$

für männliche Sterbefälle ab dem ersten Lebensjahr und

$$\begin{aligned}\text{Hirngewicht [g]} &= 1.012 + 124 \times \ln \text{Lebensalter [Jahre]} \\ (s &= 127,8 \text{ g}, r^2 = 0,5, r = + 0,71)\end{aligned}$$

für weibliche Sterbefälle ab 0,8 Jahren.

Das Hirngewicht der Knaben steigt in diesem oberen Altersbereich bei Verdoppelung des Lebensalters um 96,9 g, das der Mädchen um 86 g. Anders als beim Zusammenhang von Hirngewicht und Körperlänge im oberen Bereich ist die Kurve bei den Männern im Vergleich zu den Frauen nicht nur nach oben verlagert, sie verläuft auch steiler. Um diesen Befund einzuordnen, sind die Abb. 13 und 14 aus Kap. 2.5 heranzuziehen, die die bei beiden Geschlechtern unterschiedliche Alters-Längenkorrelation zeigen:

Knaben nehmen schneller an Größe zu als Mädchen und die Wachstumsphase dauert länger.

Abb 37: Hirngewicht und Lebensalter (in logarithmischem Maßstab) bei männlichen Sterbefällen von vollendetem 1. bis zum vollendeten 19. Lebensjahr
Regressionsgerade und 2s - Toleranzgrenzen

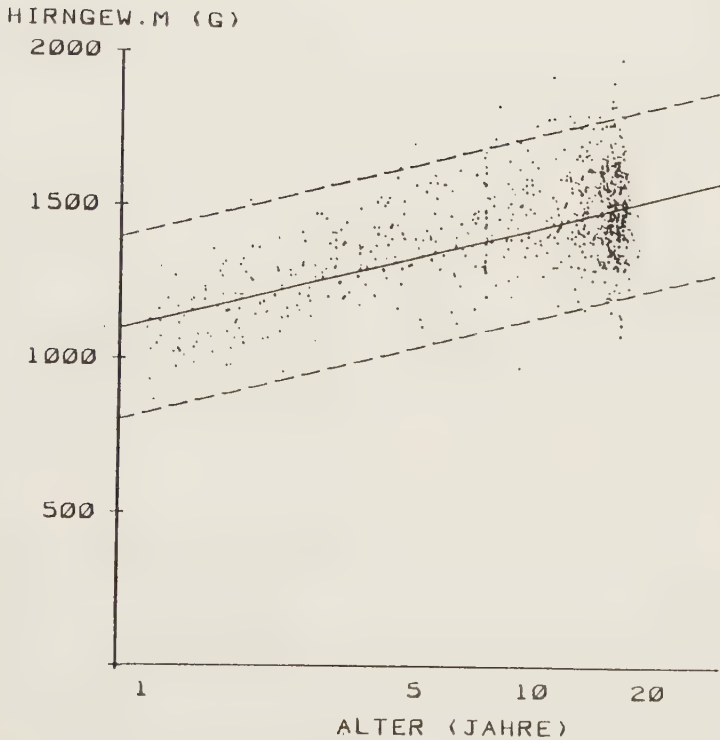
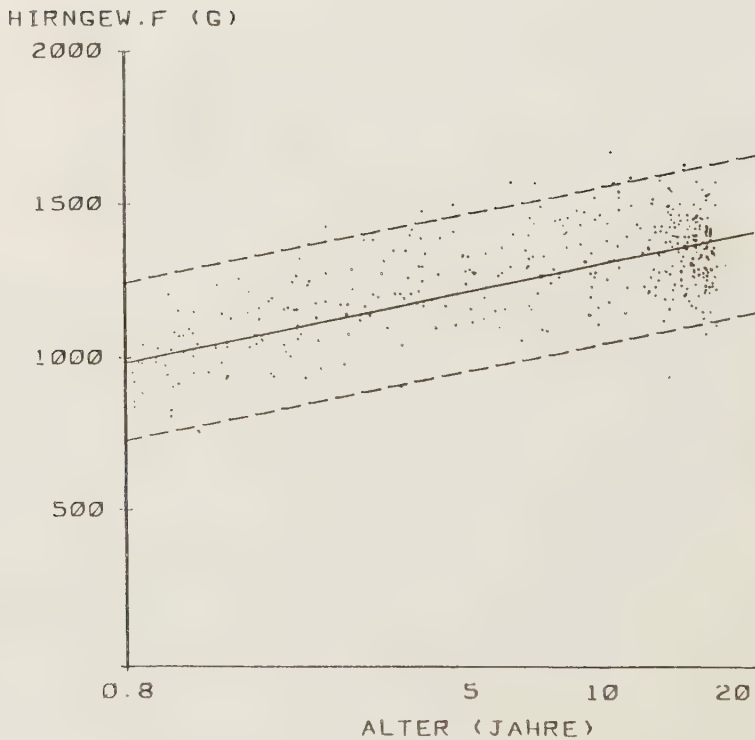


Abb 38: Hirngewicht und Lebensalter (in logarithmischem Maßstab) bei weiblichen Sterbefällen von 0,8 Jahren bis zum vollendeten 19. Lebensjahr
Regressionsgerade und 2s - Toleranzgrenzen



4. Diskussion

4.1. Einflußfaktoren auf die Ergebnisse

4.1.1 Herkunft des Materials

Die vorliegenden Daten stammen aus den Sektionsprotokollen eines Rechtsmedizinischen Instituts. Wie bereits eingangs erwähnt, hat dies den Vorteil, daß die Hirngewichte von meist aus voller Gesundheit plötzlich verstorbenen Individuen in die Erhebung eingehen (47, 55). Zwar soll die Todesursache das Hirngewicht beeinflussen (2, 19, 24, 31, 41, 44, 45, 47, 55), doch handelt es sich dabei nur um geringe Verschiebungen nach oben oder unten, die bisher nur im Trend bekannt sind. Deshalb wurde die Todesursache bei der Auswahl der Fälle nicht berücksichtigt. Dagegen besteht bei einem Material, das aus pathologischen Instituten und Krankenhäusern entstammt, immer die Gefahr, daß durch chronische Krankheiten und Siechtum veränderte Hirngewichte Einfluß nehmen. So bezog z.B. Debakan (15) seine Daten aus Sektionsprotokollen aus mehreren Spitälern, Ho's und Jordaan's Quellen waren pathologische Institute (28, 35, 37). In anderen Arbeiten werden keine Angaben zum Ursprung der Präparate gemacht (36).

4.1.2 Präparation der Gehirne

Ein Vergleich mit anderen Arbeiten muß berücksichtigen, daß eine unterschiedliche Behandlung der Gehirne zu systematischen Abweichungen der Ergebnisse führen kann. Je nach Füllungsgrad des Ventrikelsystems kann sich das Hirngewicht bei der Wägung ein und desselben Gehirns um bis zu 50 g unterscheiden (4). Da eine vollständige Entleerung des Liquors sehr umständlich, zeitraubend, also in der Praxis

wohl schlecht durchführbar, und dennoch von Fehlermöglichkeiten behaftet ist (Zurückbleiben von Liquorresten), werden die Gehirne bei undrainiertem Liquorsystem gewogen. Um sicherzustellen, daß die Abweichung durch das Abfließen von einem Teil des im 4. Ventrikel befindlichen Liquors über die Foramina Luschkae et Magendii möglichst gering blieb, erfolgte die Wägung sofort. Diese Art, die Gehirne zu präparieren und sie mit gefülltem Liquorsystem, mit Leptomeningen und Blutgefäßen zu wiegen, gaben auch Debakan (15) und Ho (28) den Vorzug, während Dobbing und Sands (17) und Ebinger (20) anders verfahren.

Neueren Untersuchungen zufolge (45, 47) hat ein Zeitraum von bis zu 120 Stunden zwischen Tod und Obduktion keinen meßbaren Einfluß auf das Hirngewicht. Dies hängt möglicherweise mit dem Bestehen einer effizienten Kühlkette bis zur Obduktion der Leichen zusammen. Deshalb wurden Tote, an denen Zeichen der Fäulnis gefunden wurden, von vornherein ausgeschlossen, da hier eine längere Zeitspanne bis zum Auffinden der Leichen durchaus zu einer Veränderung des Hirngewichtes geführt haben könnte.

4.1.3 Selektion der Daten

Wenn möglich, sollte auch der Einfluß der Akzeleration auf das Hirngewicht bei der Korrelation von Lebensalter und Hirngewicht vermieden werden, da eine gewisse Abweichung bei einer Spannweite der untersuchten Jahrgänge im gleichen Sterbealter von 30 Jahren durchaus denkbar wäre (20). Unter anderem hat Sydath (59) gezeigt, daß mit dem Phänomen der Akzeleration eine Zunahme des Hirngewichts verbunden ist, die hauptsächlich auf die Zunahme der Körperlänge zurückgeführt werden kann. Wie die Abbildungen 5-12 (Kap. 2.4) jedoch zeigen, stellen die jeweils jüngsten Jahrgänge den

höchsten Anteil an Sterbefällen, was bedeutet, daß sich der Einfluß der Akzeleration auf eine Spanne von höchstens 14 Jahre erstreckt. Nach Sydath (59) entspräche dies einer Zunahme der Körperlänge von 1,3 cm. Umgerechnet ergibt diese Körperlängenzunahme ein bis zu 27 g höheres Hirngewicht im unteren Altersbereich. Wird nun berücksichtigt, daß dieser Effekt mit steigendem Alter immer geringer wird, so läßt sich der Einfluß der Akzeleration hier vernachlässigen.

Sterbefälle, deren Parameter infolge pathologischer Gegebenheiten, z.B. durch Diabetes, Placentainsuffizienz bzw. Proteinmangelernährung der Mütter bei Neugeborenen, durch nicht termingemäße Geburt bezüglich des Gestationsalters, durch Dystrophie, Unterernährung oder extremes Übergewicht, vom Restkollektiv stark abweichen, konnten anhand der Korrelationen zwischen Körperlänge, Körpergewicht und Lebensalter identifiziert, mit einem Normalkollektiv verglichen (52, 61) und bei augenfälligen Abweichungen eliminiert werden. Ausreißer durch Schreib- und Übertragungsfehler konnten korrigiert werden (Kap. 2.5 und 2.6). Die entsprechenden Abbildungen 13-18 zeigen jeweils ein mit den in der Pädiatrie üblichen Percentilenstandards durchaus vergleichbares Bild (52, 61).

Schließlich scheint eine Mangelernährung während der kritischen Phasen der Ontogenese zumindest bei Versuchstieren nicht nur zu Abweichungen in Körperlänge und -gewicht, sondern auch zu funktionellen Beeinträchtigungen des Hirns, sogar zur Verminderung der Hirnmasse, zu führen (14, 32, 62). Einige Befunde sprechen dafür, daß das auch beim Menschen der Fall ist (5, 38). Allerdings ist dann meist auch das Körpergewicht bzw. die Körpergröße stark vermindert. Da diese Studien bisher nur an extrem unterernährten Kindern, z.B. aus Entwicklungsländern, erhoben wurden, ist dieser

Faktor ebensowenig berücksichtigt, wie z.B. der Einfluß der sozialen Umwelt auf die Entwicklung, also Faktoren wie Mißhandlung, Verwahrlosung, Deprivation, Infektionen usw. (16, 27). Es existieren bisher nur tierexperimentelle Arbeiten. Es wäre wünschenswert, in künftigen Untersuchungen näher auf diese Einflüsse einzugehen.

Weiterhin wurde versucht, Abweichungen zu eliminieren, die auf offenkundigen Hirnschäden beruhen. Gelungen ist dies sicher bei Schädelhirntraumen, die zur Eröffnung des Craniums und zum Verlust von Hirngewebe führten. Umgekehrt ist jedoch die Diagnose eines Hydrozephalus oder einer Hirnschwellung auch im Erwachsenenalter keineswegs einfach. Bei Sterbefällen in der Perinatalperiode ist die Diagnose "Hirnödem" sogar mit Hilfe labortechnischer und histologischer Methoden unmöglich zu stellen (7).

Inwieweit Fälle mit gesteigertem Hirndruck überhaupt mit einer Massenvermehrung im Gehirn einhergehen, darüber liegen keine gesicherten Daten vor.

4.2 Mittlere Hirngewichte

Allein von Debakan (15) wurden mittlere Hirngewichte auf bestimmte Altersklassen bezogen. Daher sind die vorliegenden Ergebnisse einzig mit seinen Resultaten eingehender zu vergleichen. Tabelle 8 zeigt eine Gegenüberstellung der entsprechenden Werte. Da Debakan jedoch ein größeres Klassifikationsraster anwandte, das er an wichtigen entwicklungsphysiologischen und -psychologischen Markern der Ontogenese orientierte, war eine Umrechnung auf sein Klassenintervall nötig. Diese Einteilung scheint recht willkürlich, zumal der Zeitraum von 10 Tagen bis 4 Monaten, in dem sich das mittlere Hirngewicht den vorliegenden Werten gemäß mehr als verdoppelt (etwa von 380 g auf 780 g), überhaupt nicht berücksichtigt ist.

Wie bereits erwähnt, stammt Debakans Material aus den Prosekturen mehrerer Spitäler. Grundlage der Erhebung waren 4.736 Protokolle, wovon 600 die hier interessierenden männlichen Sterbefälle bis 18 Jahre, 452 die weiblichen betrafen, aus den Jahren 1964 - 1973. Eine Verteilung dieser Sterbefälle auf die einzelnen Jahrgänge wird nicht angegeben, so daß also ein Einfluß der Akzeleration nicht ausgeschlossen werden kann. Nach Angaben des Autors wurden Sterbefälle, die für ihr Alter extrem klein waren, und solche mit einem Gewicht von über 120 kg von seiner Erhebung ausgeschlossen. In die erste Altersklasse kamen jeweils nur Fälle, die zwischen 2,1 und 3,3 kg wogen. Weiter schloß der Autor Gehirne von seinen Erhebungen aus, die makroskopische oder mikroskopische Veränderungen zeigten. Letzteres kam seinen Angaben nach allerdings selten vor.

Beim Vergleich der Ergebnisse Debakans mit den vorliegenden zeigt sich, daß Debukan nur in der ersten Altersklasse eine höhere Fallzahl erreicht. Nur hier ist das von ihm errechnete mittlere Hirngewicht geringfügig größer, in allen anderen Klassen liegt es teilweise erheblich unter den Ergebnissen dieser Studie.

Tabelle 8: Vergleich der mittleren Hirngewichte
Allmendinger - Debakan

a) männliche Sterbefälle

Klassenintervall nach Debakan	Anzahl		Mittleres Hirngewicht (g) Allmendinger / Debakan	Standardabweichungen (g) Allmendinger / Debakan	
	Allmendinger	Debakan		Allmendinger	Debakan
0 - 10 Tage	28	241	378	380	90
10 Tage - 4 Monate	147	--	601	--	--
4 - 8 Monate	204	87	778	640	160
9 - 18 Monate	112	33	1.006	970	160
18 - 30 Monate	57	53	1.196	1.120	200
30 - 42 Monate	49	19	1.289	1.270	210
3 - 5 Jahre	62	29	1.385	1.300	20
5 - 7 Jahre	47	35	1.422	1.330	10
7 - 9 Jahre	38	25	1.463	1.370	20
9 - 12 Jahre	55	17	1.505	1.440	10
12 - 15 Jahre	121	28	1.516	1.410	10
15 - 18 Jahre	298	33	1.499	1.440	30

b) weibliche Sterbefälle:

Klassenintervall nach Debakan	Anzahl		Mittleres Hirngewicht (g) Allmendinger / Debakan	Standardabweichungen (g) Allmendinger / Debakan	
	Allmendinger	Debakan		Allmendinger	Debakan
0 - 10 Tage	24	163	345	360	80
				63,2	

Ursache dürfte sein, daß Debakans Kollektiv aus Krankenhäusern stammt, daß also womöglich chronische Leiden und Siechtum diese Abweichung nach unten verursacht haben. Die geringen Standardabweichungen in den Klassen ab einem Alter von 3 Jahren müssen unrealistisch erscheinen, und der Verdacht liegt nahe, daß hier Übertragungsfehler von einer Zehnerpotenz vorliegen.

4.3. Zusammenhang zwischen Hirngewicht und Körperlänge

Für die Regression des Hirngewichts auf die Körperlänge bei Kindern gibt es in der Literatur keine vergleichbaren Daten. Das ist verwunderlich, sprechen doch einige Gründe für eine Untersuchung dieses Zusammenhangs:

Er ist theoretisch untermauert. Jerison hat 1977 sein Modell quantitativer Enzephalisation vorgestellt (34). Die grundsätzlichen Gedanken lassen sich jedoch zurückverfolgen bis ins Jahr 1891 (54). In der Einleitung wurde bereits näher darauf eingegangen.

Er ist außerordentlich praktikabel. Prinzipiell genügt schon ein Maßband zur Feststellung der Körperlänge, während z.B. das Lebensalter so ohne weiteres nicht bestimmt werden kann.

Er ist konsistent und stetig. Anders als das Körpergewicht ist die Körperlänge keinen Schwankungen unterworfen. Sie variiert nicht in so großem Ausmaß (vgl. Abb. 13 und 14 mit 15 und 16). Die Standardabweichungen bewegen sich im engen Rahmen.

Er unterliegt also auch weniger äußeren Einflüssen. Auch unter ungünstigen Bedingungen wie Krankheit, Unterernährung oder excessiver Kalorienzufuhr bleibt die funktionelle Anpassung des Gehirns an die Körperlänge bestehen (vgl. Kap. 4.6).

Schließlich liefert er gute Ergebnisse. Die Korrelationskoeffizienten lauten 0,84 und 0,58 für männliche Sterbefälle im unteren und oberen Bereich, und 0,89 bzw. 0,68 für weibliche Sterbefälle. Diese Werte werden im oberen Bereich nur durch die Korrelationskoeffizienten für den Zusammenhang zwischen Hirngewicht und Lebensalter gering übertroffen.

Aus den in der Pädiatrie geläufigen Percentilenstandards läßt sich eine Körperlänge von 50,6 cm für männliche und 50,2 cm für weibliche Neugeborene entnehmen (50 % Perzentilen) [51, 61].

Mit den vorliegenden Regressionsgleichungen errechnen sich dazu die Hirngewichte mit 402,9 g bzw. 397,5 g. Diese lassen sich bedingt mit den Hirngewichten für Neugeborene aus anderen Untersuchungen vergleichen, wobei jedoch die grundsätzliche Schwierigkeit besteht, daß viele Autoren keine Angaben zur Körperlänge der untersuchten Sterbefälle machen, sondern diese in verschiedene Alters- und Gewichtsklassen einteilen und mittlere Hirngewichte nennen. Hier wurden dann die Gewichtsklassen ausgewählt, die den 50 % Perzentilen am ehesten nahe kommen. Von Silver (52) wurden folgende Werte angegeben: 3,4 kg Geburtsgewicht für Knaben und 3,36 kg für Mädchen. Diese Vergleiche zeigt Tabelle 9.

Nochmals sei darauf hingewiesen, daß kein Autor das Hirngewicht direkt auf die Körperlänge bezieht. So werden entweder

Tabelle 9: Hirngewicht, Körperlänge und Körpergewicht bei Neugeborenen. Zusammenstellung der aus der Körperlängenregression errechneten Hirngewichte des Autors und der Hirngewichte, die nach anderen Methoden arbeitende Untersucher angeben.

Jahrgang d. Erhebung	A U T O R - Methode	Hirngewicht [g] männlich weiblich	A N Z A H L männlich weiblich	Körperlänge [cm] männlich weiblich	Körpergewicht [kg] männlich weiblich
<u>Alimentinderer</u>					
1952-1983	Reg. auf Körperlänge	402,9	397,5	-	-
	Mittleres Hirngewicht, 0-15 Tage	382,8	361,0	30	31
<u>Debakan (15)</u>					
1964-1973	Mittleres Hirngewicht, 0-10 Tage	380,0	360,0	241	163
	Reg. auf Gewichtsklassen	384,3	-	-	-
<u>Dobbing + Sands (17)</u>					
	Reg. auf Gewicht	421,4	417,0	-	-
<u>Jordaan (36)</u>					
	Mittleres Hirngewicht, 3,2-3,6 kg	412,3	37	-	3,4
	Reg. auf Gewichtsklassen	402,3	--	-	3,4
<u>Jordaan, Dunn (37)</u>					
	Mittleres Hirngewicht bei 3,2 kg	(372,0)	(10)	-	(3,2)
	Reg. auf Gewichtsklassen	(394,3)	--	-	(3,25)
<u>Ho, K.C. (28)</u>					
10 Jahre	Mittleres Hirngewicht, 1-29 Tage	383,0	375,0	159	93

mittlere Hirngewichte auf Altersklassen (15, 28) oder auf Gewichtsklassen (36, 37) bezogen angegeben. Oder die Autoren führen zwar eine Regression von Hirngewicht auf Körpergewicht (36, 37) bzw. auf das Lebensalter (15) oder beides (17) durch, beziehen diese aber auf spezielle, zuvor definierte Gewichts- und Altersgruppen unterschiedlicher Klassenbreite. Ein direkter Vergleich ist also nur schwer möglich, dagegen ist ein Trend wohl zu sehen. Die durch die Regression des Hirngewichts auf die Körperlänge erhaltenen Werte liegen durchaus im Rahmen, die Regressionsgerade ist auch im unteren Bereich gut angepaßt. Der Unterschied zwischen den Geschlechtern ist gering, wenn man die unterschiedliche Körperlänge berücksichtigt.

4.4 Zusammenhang zwischen Hirngewicht und Körpergewicht

Bemerkenswert ist die Tatsache, daß zwar keine Untersuchungen über die Beziehungen zwischen Hirngewicht und Körpergröße bei Kindern zur Verfügung standen, daß aber eine ganze Reihe von Arbeiten existieren, die sich mit Hirngewicht und Körpergewicht befassen. Die bereits erwähnten Autoren Jordaan und Dunn untersuchten menschliche Feten (37). Ihre Daten stammten aus pathologischen Instituten und Krankenhäusern und wurden einer strengen Selektion unterworfen.

Fälle intrauteriner Dystrophie, Rhesusinkompatibilität, zerebrale Blutungen, Mikro- und Hydrozephalus, genetischer und congenitaler Anomalien wurden ebenso ausgeschlossen, wie Fälle, bei denen die Todesursache Sepsis, Pneumonie oder Gastro-Enteritis war. Der Tod durfte nicht länger als 24 Stunden zurückliegen, ausgeschlossen waren ferner alle Fälle von reifen Feten, deren Körpergewicht über 3.200 g betrug. Untersucht wurden 384 Totgeburten bzw. Todesfälle am ersten Lebenstag. Den Zeitraum, auf den sich die Untersuchung erstreckte, gaben die Autoren nicht an, es wurde nicht zwischen männlichen und weiblichen Sterbefällen unterschieden.

Wie in der Einleitung bereits erwähnt, führten Jordaän und Dunn (37) eine Klassenzuordnung der entsprechenden Körpergewichte durch. Daher lassen sich die Werte für die entsprechenden Hirngewichte nur für Neugeborene und nur unter großen Vorbehalten vergleichen, zumal ja auch Unterschiede in Herkunft und Selektion des Materials bestehen. Die vorliegenden Werte sind daher wohl in der Tat höher als die der Autoren (vgl. auch Tabelle 10). Ihre entsprechende Gleichung lautet für weibliche und männliche Sterbefälle:

$$\text{Hirngewicht [g]} = 543,85 - 435, 1.452 \times 0,8077^x$$

wobei $x = 0$ bei einem Körpergewicht von 750 g; $x = 1$ bei 1.250 g usw.

An anderer Stelle (36) gibt Jordaän eine weitere Formel für die Regression des Hirngewichts auf das Körpergewicht für beide Geschlechter an:

$$\text{HG [g]} = 2,21 \times \text{Geburtsgewicht [g]}^{0,64}$$

Jordaän bezog hier seine Sektionsprotokolle wohl auch aus Krankenhäusern und wandte die oben schon besprochenen strengen Selektionskriterien an ($n = 183$). Bei doppelt logarithmischer Auftragung der mittleren Hirngewichte von Neugeborenen gegen die zugehörigen Geburtsgewichtsklassen erhielt er eine leidliche lineare Anpassung. Ein näherer Vergleich wiederum ist aus eben den Gründen nicht möglich, tendenziell stimmen jedoch Jordaäns Werte mit denen der vorliegenden Untersuchung überein (Tabelle 10).

Die Autoren Dobbing und Sands (17) bearbeiteten 139 Fällen von der 10. Gestationswoche bis zum Alter von 77 Jahren. Ihre Fälle entstammten einem ähnlichen Kollektiv, wie die der vorliegenden Arbeit, auch war die Selektion durchaus vergleichbar. Geringe Unterschiede weist die Präparations-technik auf, die Autoren entfernten Pia mater, Blutgefäße

und offensichtlich auch den Liquor, wodurch sich im einzelnen systematisch niedrigere Hirngewichte ergeben dürften. Eine Regressionsgleichung wird von den Autoren zwar angegeben, jedoch mit dem Hinweis versehen, daß eine Anwendung zum Zwecke der Vorhersage des Hirngewichts wegen der großen Varianz nicht sinnvoll scheint. Sie verweisen statt dessen auf die direkte Auftragung des Hirngewichts gegen das Körpergewicht, geben dafür jedoch keine Gleichung an. Aus der entsprechenden Abbildung wird jedoch ersichtlich, daß hier bis zu einem Körpergewicht von 5 kg (und somit einem Hirngewicht von etwa 615 g) ein guter linearer Zusammenhang herrscht. Unterschiede zwischen männlichen und weiblichen Sterbefällen werden nicht gemacht (Tabelle 10).

Debakan (15) arbeitete bei der Errechnung der Regression mit den mittleren Hirngewichten, die, wie schon erwähnt, durchaus einige Auffälligkeiten hinsichtlich der Standardabweichungen zeigen. Und obwohl er kein Bestimmtheitsmaß bzw. keinen Korrelationskoeffizienten angibt, scheint es, er wäre glücklicher gefahren, wenn er seine Regression für zwei Bereiche unterschiedlich berechnet hätte, etwa in der Art, wie bei Hirngewicht und Körpergröße bzw. Lebensalter in vorliegender Arbeit verfahren wurde. Seine Gleichung lautet:

$$\text{Hirngewicht [kg]} = 1,449 - 3,62/\text{Körpergewicht [kg]}$$

Ein Vergleich ist wegen Debakans Klasseneinteilung nicht möglich (Tabelle 10).

Nun zeigen unsere Abbildungen 29 bis 32, wie wenig die Beziehung zwischen Hirn- und Körpergewicht ideal ist. Spiegel dieser Tatsache ist die relativ hohe Standardabweichung und das recht niedrige Bestimmtheitsmaß gerade bei Männern. Dies liegt mit an der geringen Spannweite des Körpergewichts,

bei der überhaupt eine Regression gelungen ist, und damit an der geringen Fallzahl.

Aber auch zufällige Einflüsse können das Körpergewicht im Gegensatz zum Hirngewicht stark abweichen lassen. Genannt seien hier die fetale Entwicklungsstörung, die Plazentainsuffizienz, Unterernährung, aber auch Diabetes der Mutter, der Einfluß von Ödemen und Fettgewebe und, im Verlaufe des weiteren Lebens sich verstärkt auswirkend, ein schwerer Knochenbau und ein hoher Muskelanteil.

Tabelle 10: Hirngewicht bei Neugeborenen
(errechnet aus den Regressionsgleichungen für das Körpergewicht)

A U T O R	Körpergewicht (kg)		Hirngewicht (g)		
	♂	♀	♂	♀	
<u>Allmendinger</u>	Reg. Gewicht	3,4	3,36	503,2	459,2
<u>Debakan</u>	Reg. Gewichtsklasse	3,4	--	384,3	--
<u>Dobbing und Sands</u>	Reg. Gewicht	3,4	3,36	421,4	417,0
<u>Jordaan</u>	Reg. Gewichtsklasse	3,4		402,3	
<u>Jordaan und Dunn</u>	Reg. Gewichtsklasse	(3,25)		(394,3)	

Ödeme wirken sich besonders bei Fetopathien wie Rh-Inkompatibilität und perinatal aus, Fettablagerungen aber später nach Geburt. Hinsichtlich des Fettgewebes sei folgendes noch gesagt: Natürlich ist auch das Fettgewebe im Gehirn repräsentiert, handelt es sich doch um stark durchblutetes und innerviertes Gewebe mit hohem Grundumsatz und hoher Stoffwechselleistung (26). Bei der Adipositas, einer teilweise exorbitanten Gewichtszunahme, die auch schon im jugendlichen Alter vorkommt, ist jedoch nicht nur die Zellzahl vermehrt, was auch zu einem erhöhten Betrag an Projektionsfläche im Gehirn führen könnte, sondern die Zellen selbst schwellen auf ein Mehrfaches ihrer ursprünglichen Größe an (46). Wie also die Unterernährung einen Fehler zu relativ höheren Hirngewichten verursacht, so bewirkt die kalorische Überernährung das Gegenteil, ein Abweichen zu relativ erniedrigten Hirngewichten.

Bei den vorliegenden Ergebnissen liegt jedoch die Vermutung nahe, daß die schlechte Korrelation und besonders die relativ hohe Abweichung der Geraden nach oben bei den männlichen Sterbefällen durch zufällige Einflüsse, z.B. nicht erkannte Ausreißer, entstanden ist.

4.5 Zusammenhang zwischen Hirngewicht und Lebensalter

Ein der groben Orientierung dienender Vergleich der Werte, die hier mit Hilfe der Regressionsgleichungen für den Zusammenhang zwischen Lebensalter und Hirngewicht errechnet wurden, mit den Werten anderer Autoren ist schon mit Hilfe der Tabellen 9 und 10 möglich, da es sich hier ja immer um die Hirngewichte Neugeborener handelt. Tabelle 11 zeigt die Ergebnisse der Autoren, die die Regression des Hirngewichts auf das Lebensalter durchführten und mit denen ein etwas näherer Vergleich lohnt.

Tabelle 11: Hirngewicht bei Neugeborenen
(errechnet aus den Regressionsgleichungen für das Lebensalter)

A U T O R	Hirngewicht (g)	
	♂	♀
<u>Allmendinger</u>	Reg. Alter 508,1	429,2
<u>Debakan</u>	Reg. Altersklasse (204,0)	(228,0)
<u>Dobbing und Sands</u>	Reg. Gewicht* und Alter* 423,7	418,7

* Werte der 50 % - Perzentilen für das Geburtsgewicht nach Silver, 1982 (65)

Bei Debakan (15) beginnt der für seine Gleichung definierte Altersbereich erst bei einem Lebensalter von 4 Monaten. Das besonders interessierende Alter von 0-3 Monaten ist ausgeklammert, das Hirngewicht wird nicht direkt auf das Alter bezogen, sondern auf Altersklassen. Ein direkter Vergleich ist somit auch hier nicht möglich.

Dobbing und Sands (7) bezogen in Art einer multiplen linearen Regression ihre Hirngewichte nicht nur auf das Lebensalter, sondern auch auf das Körpergewicht. Wiewohl nur diese Autoren die einzigen waren, die die Hirngewichte nicht durch Klassen- oder Mittelwertbildung aufbereiteten, so ist auch hier ein Vergleich nur schwer möglich. Nach Ansicht der Autoren ist die Beziehung zwischen Hirngewicht/Körpergewichtsverhältnis und Lebensalter zusätzlich wegen der großen Varianz nur bedingt zur Abschätzung des Hirngewichts geeignet (s. 46).

Sowohl aus Abbildung 35 und 36 als auch - mit Einschränkungen - aus den Tabellen 9 bis 11 ist zu entnehmen, daß die Verhältnisse des ersten Vierteljahres durch die jeweilige Regressionsgerade nicht zufriedenstellend dargestellt sind. Die Geraden liegen hier zu hoch. Bei der Beurteilung des Einflusses, den das Alter auf das Hirngewicht bei Kindern nimmt, ist außerdem folgendes zu beachten: Die Hirnentwicklung ist vom chronologischen, nicht so sehr vom Entwicklungsalter abhängig (28). Dies führt nun dazu, daß das Gestationsalter an Wichtigkeit gewinnt, während Einflüsse wie fetale Wachstumsstörungen, etwa infolge einer Proteinmangelernährung der Mutter, eher in den Hintergrund treten, da ja das intrauterine Gehirnwachstum bei einer solchen Entwicklungsstörung weniger betroffen ist als der Rest des Körpers (37). Diese Bedeutung, die die richtige Bestimmung des Gestationsalters hat, verliert sich natürlich mit steigendem Alter des Kindes,

damit auch der Einfluß von Fehlern, die hierbei gemacht wurden, und es nehmen Faktoren wie Ernährung, Infektionen, soziale Umwelt wieder Oberhand (5, 8, 14, 16, 27, 32, 38, 46, 62).

Dazu kommt nun, daß die Entwicklung des Gehirns keineswegs gleichmäßig verläuft, sondern daß sich verschiedene Hirnteile zu unterschiedlichen Zeiten entwickeln, auch in unterschiedlichem Maße an den diversen Entwicklungsprozessen teilnehmen. Dobbing und Sands (17) konnten dies an ihrem Material aufzeigen. Bis zur 18. Schwangerschaftswoche erfolgt die Bildung der Neuronen, danach eine Gliavermehrung. Die Differenzierung der Neurone und Synapsenbildung findet bis zum Ende des 3. Lebensjahres statt (63). Noch vor der Geburt beginnt die Myelinisierung. Sie schreitet fort bis Ende des 2. Lebensjahres (23). Nach Abschluß der Zellproliferation nimmt also das Hirngewicht durch Einlegung von Gangliosiden, Glucolipiden und Myelin zu.

5. Zusammenfassung

Grundlage der vorliegenden Erhebung waren 1.936 Sektionsprotokolle des Gerichtsmedizinischen Instituts der Universität München. Davon entfielen 697 auf weibliche, 1.219 auf männliche Sterbefälle, deren Lebensalter 0 - 19 Jahre betrug. Ausgeschlossen waren Fälle, die bei der Sektion Fäulnisercheinungen, offene Schädelverletzungen mit Hirnverlust, mit dem bloßen Auge erkennbare Veränderungen wie Hydrozephalus oder Hirnödeme zeigten, sowie Frühgeburten. Sektionsprotokolle mit schwer auffälligen Körperlängen- bzw. Körpergewichts-Lebensalterkorrelation und Körperlängen-Körpergewichtskorrelation gingen ebenfalls nicht in die Untersuchung ein. Die Präparation der Gehirne erfolgte immer auf dieselbe Art und Weise, die Wägung wurde sofort und bei gefülltem Vertirkelsystem durchgeführt.

Folgende Regressionen des Hirngewichts auf Körperlänge, Körpergewicht und Lebensalter wurden gefunden:

Für die Regression des Hirngewichts (HG) auf die Körperlänge (KL):

$$\begin{aligned} \text{♂, 50 - 85 cm: } & \text{HG [g]} = -624,3 + 20,3 \times \text{KL[cm]}; \\ & s = 108 \text{ g}; r = + 0,84 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{♂, ab 85 cm : } & \text{HG [g]} = 850 + 150 \times \ln (\text{KL[cm]} - 77,5); \\ & s = 140 \text{ g}; r = + 0,58 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{♀, 50 - 80 cm: } & \text{HG [g]} = -671,8 + 21,3 \times \text{KL [cm]}; \\ & s = 87 \text{ g}; r = + 0,89 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{♀, ab 80 cm : } & \text{HG [g]} = 566 + 204 \times \ln (\text{KL [cm]} - 70,4); \\ & s = 118 \text{ g}; r = + 0,61 \end{aligned}$$

Für die Regression des Hirngewichts (HG) auf das Körpergewicht (KG):

$$\begin{aligned} \text{♂ bis 5 kg : } & \text{HG [g]} = 136 + 108 \times \text{KG [kg]}; \\ & s = 127 \text{ g}; r = + 0,51 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{♀ bis 5 kg : } & \text{HG [g]} = 94,3 + 108,6 \times \text{KG [kg]}; \\ & s = 89 \text{ g}; r = + 0,71 \end{aligned}$$

Für die Regression des Hirngewichts (HG) auf das Lebensalter [LA]:

$$\begin{aligned} \sigma & \text{ bis 1 Jahr: } HG [g] = 50,81 + 613,6 \times LA [\text{Jahre}]; \\ & s = 103 \text{ g}; r = + 0,81 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sigma & \text{ ab 1 Jahr : } HG [g] = 1.122 + 139,8 \times \ln LA [\text{Jahre}]; \\ & s = 150 \text{ g}; r = + 0,62 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \varphi & \text{ bis 0,8 Jahre: } HG [g] = 429,2 + 678 \times LA [\text{Jahre}]; \\ & s = 78,4 \text{ g}; r = + 0,88 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \varphi & \text{ ab 0,8 Jahre : } HG [g] = 1.012 + 124 \times \ln LA [\text{Jahre}]; \\ & s = 127,8 \text{ g}; r = + 0,71 \end{aligned}$$

Das Hirngewicht zeigt ab 5 kg Körpergewicht keine befriedigende Korrelation zum Körpergewicht, aber auch darunter stellt das Körpergewicht kein gutes Bezugsmaß für das Hirngewicht dar. Dennoch findet diese Korrelation bei vielen Autoren Verwendung. Als ausgezeichnetes Bezugsmaß für das Hirngewicht kann das Lebensalter gelten, jedoch erst ab dem zweiten Vierteljahr.

Die Regression vom Hirngewicht auf die Körperlänge liefert für männliche und weibliche Sterbefälle sehr gute Werte, sowohl von der Anpassung der Geraden an jeden Bereich, als auch von der Qualität als Bezugsmaß her. In der Literatur gibt es keine vergleichbaren Untersuchungen. Dieses Ergebnis spricht für Jerisons Modell der quantitativen Enzephalisation, das besagt, daß eine funktionelle Anpassung des Gehirns an die Körperlänge besteht, die sich im Hirngewicht manifestiert.

L I T E R A T U R V E R Z E I C H N I S

- (1) **Adam, C.:**
Descartes: sa vie et son œuvre.
Boivin, Paris (1937)

- (2) **Appel, F.W., Appel, E.M.:**
Intracranial variation in the weight of
the human brain.
Hum. Biol. 14, 48, 235 (1942)

- (3) **Berengario da Carpi:**
Isagoge breves perlucide ac uberrime in
anatomium humani corporis.
H. Hectoris, Bologna (1522)

- (4) **Brandes, K.:**
Liquorverhältnisse an der Leiche und Hirn-
schwellung.
Frankfurt, Ztschr. f. Path. 35, 274 (1927)

- (5) **Brown, R.E.:**
Organ weight in malnutrition with special
reference to brain weight.
Develop. Med. Child. Neurol. 8, 512 (1966)

- (6) **Burkhardt, L.:**
Messungen der Substanzdichte am mensch-
lichen Gehirn mittels des spezifischen
Gewichtes.
Virchows Arch., 314, H2 (1947)

- (7) **Carmichael, A.:**
A memoir of the life and philosophy
of Spurzheim.
W.F. Wakeman, Dublin (1833)

- (8) **Chase, H.P., Lindsley, W.F.B., O'Brien, O.:**
Undernutrition and cerebellar development.
Nature 221, 449 (1969)

- (9) **Chrzanowska, G., Kreshowiecki, A.:**
Hängt das Hirngewicht von der Körperlänge ab?
Gegenbauers morph. Jahrb. 121 (1975)

- (10) **Clarke, E., O'Malley, C.D.:**
The human brain and spinal cord.
University of California Press, Berkeley and
Los Angeles, 713 (1968)

- (11) **Cobb, S.:**
Brain size.
Arch. Neurol. 12, 555 (1965)

- (12) **Coppoletta, J.M., Wolbuch, S.B.:**
Body length and organ weight of infants
and children.
Am. J. Pathol. 9, 55 (1933)

- (13) **Dart, R.A.:**
The relationship of brain size and
brain pattern to human status.
S. Afr. J. Med. Sci. 21, 23 (1956)

- (14) **Davison, A.N., Dobbing, J.:**
Myelination as a vulnerable period in
brain development.
Brit. Med. Bull 22, 40 (1965)

- (15) **Debakan, A.S.:**
Changes in brain weights during the span
of human life: Relation of brain weights
to body heights and body weights.
Ann. Neur. 4, 4, 345 (1978)
- (16) **Diamond, M.C., Kruh, D., Rosenzweig, M.R.:**
The effects of an enriched environment
on the histology of the rat cerebral
cortex.
J. Comp. Neur. 123, 111 (1964)
- (17) **Dobbing, J., Sands, J.:**
Quantitative growth and development
of human brain.
Arch. Dis. Child. 48, 757 (1973)
- (18) **Dubois, E.:**
Die gesetzmäßige Beziehung von Gehirnmasse
zu Körpergröße bei den Wirbeltieren.
Z. morph. Anthropol. 18 (1914)
- (19) **Dustmann, H.-O.:**
Das Hirngewicht und seine Abhängigkeit
von Lebensalter, Körpergröße und Beruf.
Med. Diss., München (1964)
- (20) **Ebinger, P.:**
Allometrische Betrachtungen zur Hirn-Körper-
gewichts-Beziehung bei Säugetieren.
Tierärztl. Prax. 11, 431 (1983)
- (21) **Fischer-Homberger:**
Geschichte der Medizin.
Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg-New York (1977)

- (22) George, W.C.:
The biology of the race problem.
Report commissioned by the Governor of
Alabama, 1 (1962)
- (23) Gilles, F.H.:
Myelination in the neonatal brain.
Hum. Path. 7, 3, 244 (1976)
- (24) Handmann, E.:
Über das Hirngewicht des Menschen.
Arch. anat. physiolog. (1906)
- (25) Haug, H.:
Neuere Aspekte über den biologischen Alterungs-
vorgang im menschlichen Gehirn. Wann beginnt
der Alterungsprozeß im Gehirn?
Verh. Anat. Ges. 69 (1975)
- (26) Havel, R.J.:
Autonomic nervous system and adipose
tissue.
In: Renold, Cahill (ed.) Handbook of
Physiology
Williams and Wilkins , Baltimore, 575 (1965)
- (27) Herre, W.:
The influence of environment on the brain
of the mammals.
Dtsch. Med. Wschr. 83, 86 (1958)
- (28) Ho, K.-C., Roessmann, U., Hause, L.,
Monroe, G.:
Newborn brain weight in relation to maturity,
sex and race.
Ann. Neurol. 10, 3, 243 (1981)

- (29) **Hofmeyr, J.D.J.:**
Gedifferensieerde ontwikkeling:
in gentiese standpunt.
University of Pretoria Branch of Afrikaanse
Studentebond, Pretoria, 8 (1961)
- (30) **Huxley, J.S.:**
Problems of relative growth.
Allen and Unwin, London (1932)
- (31) **Im Obersteg, I.:**
Über Beziehungen des Körperbautypus zu
Gewicht und Maß innerer Organe.
Acta genet. et statist. med. 3 (1953)
- (32) **Jackson, C.M., Stewart, C.A.:**
The effects of inanition in the young
upon the ultimate size of the body and
the various organs in the albino rat.
J. Exp. Zool. 30, 8 (1920)
- (33) **Jerison, H.J.:**
Brain to body ratios and the evolution
of intelligence.
Sci., 121, 447 (1955)
- (34) **Jerison, H.J.:**
The theory of encephalisation.
Ann. N.Y. Acad. Sci. 199, 146 (1977)
- (35) **Jordaan, H.V.F.:**
Newborn / adult brain ratios in hominid
evolution.
Am. J. Phys. Anthropol. 44, 271 (1974)

- (36) **Jordaan, H.V.F.:**
Newborn brain / body weight ratios.
Am. J. Phys. Anthropol. 44, 279 (1976)
- (37) **Jordaan, H.V.F., Dunn, L.J.:**
A new method of evaluating fetal
growth.
Obst. Gyn. 51, 6, 659 (1978)
- (38) **Kerpel-Fronius, E.:**
Somatic stability in the newly born.
Ciba Foundation Symposium (1961)
- (39) **Lashley, K.S.:**
Persistent problems in the evolution of
mind.
Quart. Rev. Biol. 24, 28 (1949)
- (40) **Lemons, J.A., Schreiner, R.L., Gresham, E.L.:**
Relationship of brain weight to head
circumference in early infancy.
Hum. Biol. 53, 3, 351 (1981)
- (41) **Marchand, F.:**
Über das Hirngewicht des Menschen.
Abh. math. physik. Kl. sächs. Ges.
Wiss. 27, 4 (1902)
- (42) **Matiegka, H.:**
Über das Hirngewicht, die Schädelkapazität
und die Kopfform, sowie deren Beziehung
zur psychischen Tätigkeit des Menschen.
Sitzungsber. böhm. Ges. Wiss. Prag (1902)

- (43) Michaelis, P.:
Das Hirngewicht des Kindes.
Monatsschr. Kinderheilkd. 6; 9 (1907)
- (44) Mühlmann, M.:
Wachstum, Altern, Tod.
Erg. Anat. Julius Springer, Berlin (1927)
- (45) Nirschl, K.:
Das reduzierte Hirngewicht als Parameter
zur Untersuchung verschiedener Einfluß-
faktoren auf das Gewicht menschlicher
Gehirne.
Med. Diss. München (1978)
- (46) Olefsky, J.M.:
Obesity. In: Isselbacher, Adams, Braunwald,
Petersdorf, Wilson (ed.): Harrison's Principles
of Internal Medicine.
McGraw-Hill Kogakusha, Tokyo, 411 (1980)
- (47) Pakkenberg, H., Voigt, J.:
Brain weight of the Danes.
Acta Anat., 27 (1964)
- (48) Pearl, R.:
Biometrical studies in man. I. Variation
and correlation in brain weight.
Biometrika 4, 13 (1905)
- (49) Pfister, H.:
Neue Beiträge zur Kenntnis des kindlichen
Hirngewichts.
Arch. Kinderheilkd. 37, 239 (1903)

- (50) Riese, W.:
The 150th anniversary of S. T. Soemmerings's
Organ of the Soul. The reaction of his
contemporaries and its significance
today.
Bull. Hist. Med. 20, 310 (1946)
- (51) Schneider, E.:
Brain weight correlations calculated from
original results of Paul Broca.
Am. J. Phys. Anthropol. 25, 153 (1966)
- (52) Silver, H.K.:
Growth and development. In: Kempe, Silver,
O'Brian (ed.): Current Pediatric
Diagnosis and Treatment.
Lange Medical Publications, Los Altos,
California (1982)
- (53) Siwe, S.A.:
Einige Kurven zur Beleuchtung des Wachstums
des zentralen Nervensystems bis zum Alter
von 5 Jahren.
Z. Anat. Entwickl. 92, 796 (1930)
- (54) Snell, O.:
Die Abhängigkeit des Hirngewichts vom
Körpergewicht und den geistigen Fähigkeiten.
Arch. f. Psychiatrie und Nervenkrankheiten 23 (1891)
- (55) Spann, W., Dustmann, H.O.:
Das menschliche Hirngewicht und seine
Abhängigkeit von Lebensalter, Körperlänge,
Todesursache und Beruf.
Dr. Zeitschr. f. gericht. Med. 56 (1965)

- (56) **Spann, W.:**
Das Hirngewicht in Beziehung zur Todesursache
und anderen Faktoren.
Dt. Zeitschr. f. gericht. Med. 4 (1956)
- (57) **Steinberger, E.:**
Physikalisch-chemische Untersuchungen
an Gehirn und Körperflüssigkeiten.
Med. Diss. München (1975)
- (58) **Stiller, D., Katonkamp, D.:**
Zur Biomorphose des alternden Gehirns
unter besonderer Berücksichtigung seniler
Amyloidablagerungen.
Zeitschr. f. Altersforsch. 23 (1970/71)
- (59) **Sydath, A.:**
Längsschnittuntersuchung über die Einflüsse
von Körperlänge und Lebensalter auf das
Hirngewicht.
Med. Diss. München (1981)
- (60) **Tobias, P.V.:**
Brain size, grey matter and race
- fact or fiction.
Am J. Phys. Anthrop. 32, 3 (1970)
- (61) **Vogt, D.:**
Wachstum und Entwicklung des gesunden
Kindes.
Th: Wiskott, A. (ed.): Lehrbuch der Kinder-
heilkund.
Georg Thieme Verlag, Stuttgart (1969)

- (62) Zamenhof, S., von Marthens, E., Margolis, F.L.:
DNA (cell number) and protein in neonatal
brain: alteration by maternal dietary
protein restriction.
Science 160; 322 (1956)
- (63) Ziegler, E.:
Die Beziehungen zwischen dem säkularen
Trend des Zuckerkonsums in England und
den säkularen Zunahmen des Hirngewichts
des Erwachsenen in London zwischen 1860
und 1940.
Schweiz. med. WSchr. 109, 1126 (1979)

L E B E N S L A U F

Name: Rolf Allmendinger-Hagenmaier

Geburtstag und -ort: 9. Dezember 1948 in Undingen

Familienstand: ledig

Eltern: Hermann Allmendinger
Emilie Allmendinger

1957 - 1961 Volksschule Undingen

1961 - 1970 Gymnasium Stuttgart

1970 Abitur

1970 - 1974 Versicherungskaufmann

1974 - 1978 Studium der Tiermedizin an der LMU München

1978 - 1983 Studium der Zahnmedizin an der LMU München

1983 Staatsexamen

seit 1984 Assistenzarzt in der freien Praxis

